



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA MATERIÁLU

Studijní program: B2341 Strojírenství
Obor: 3911 R 018 Materiály a technologie
Zaměření: Materiálové inženýrství

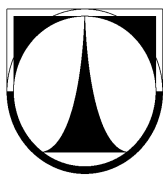
Změny pevnosti ocelového pláště přenosného hasicího přístroje v důsledku stárnutí oceli

Changes of strength of a steely fire extinguisher case in
consequence of a steel ageing

Erban Jiří

KMT-B-129

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Odehnalová Daniela
Konzultant: Kušnirak Radim
Rozsah práce: počet stran 37
počet stran přílohy 27
počet obrázků 23



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA MATERIÁLU

Anotace

Jméno a příjmení:	Jiří Erban
Studijní program:	B2341 Strojírenství
Obor:	3911 R 018 Materiály a technologie
Zaměření:	Materiálové inženýrství
Zadání práce:	Změny pevnosti ocelového pláště přenosného hasicího přístroje v důsledku stárnutí oceli
Číslo práce:	KMT-B-129
Vedoucí práce:	ing. Odehnalová Daniela
Konzultant:	Kušnirak Radim
Klíčová slova:	stárnutí materiálu, změny pevnosti, tlaková nádoba, hasicí přístroj

Tato bakalářská práce se zabývá změnami pevnosti ocelového pláště přenosného hasicího přístroje v důsledku stárnutí oceli. Cílem bakalářské práce bylo zaznamenat, jak se mění pevnostní charakteristiky materiálu během výroby a následně během užívání výrobku spotřebitelem a zhodnotit, jestli případné změny těchto charakteristik nesnižují užité vlastnosti přenosného hasicího přístroje.



TECHNICAL UNIVERSITY LIBEREC
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF MATERIAL SCIENCE

Annotation

Name:	Jiří Erban
Program of study:	B2341 Engineering
Specialization:	3911 R 018 Materials and technology
Focusing:	Material science
Theme of work:	Changes of strength of a steely fire extinguisher case in consequence of a steel ageing
Number of work:	KMT-B-129
Leader of work:	ing. Odehnalová Daniela
Consulter:	Kušnirak Radim
Keywords:	ageing of material, changes of strength, pressure tank, fire extinguisher

This bachelor work deals with changes of a steely fire extinguisher case in consequence of a steel ageing. Aim of this work was to note changes of strength characteristics of material during production process and then during using product by a consumer and to evaluate if prospective changes do not reduce benefit features of a fire extinguisher.

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Obsah

Část teoretická

1. Úvod	10
2. Fázové přeměny slitin železa v tuhém stavu	11
3. Precipitační rozpad tuhých roztoků	11
3.1. Kontinuální precipitace	11
3.2. Diskontinuální precipitace	13
4. Kontinuální precipitace tuhých roztoků ocelí	13
4.1. Polymorfní oceli	13
4.1.1. Stárnutí po kalení	15
4.1.2. Stárnutí deformační	19
4.2. Nepolymorfní oceli	20
5. Oceli na hluboký tah	21
6. Teorie zpracování dat	23
6.1. Popis měřených hodnot	23
6.2. Postup při zpracování opakovaných měření	23

Část experimentální

7. Zjednodušený výrobní postup PHP	25
8. Technické parametry PHP	27
9. Odběr vzorků a jejich specifikace	28
10. Podmínky experimentu	29
11. Naměřené a vypočítané hodnoty	30

11.1. Výpočet směrodatné odchylky a krajní chyby	30
11.2. Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot	33
12. Diskuze výsledků	35
13. Závěr	36
Použitá literatura	37

Přílohy

Příloha č.1- Protokol tahové zkoušky vzorek 1, série I.	38
Příloha č.2- Protokol tahové zkoušky vzorek 2, série I.	39
Příloha č.3- Protokol tahové zkoušky vzorek 3, série I.	40
Příloha č.4- Protokol tahové zkoušky vzorek 4, série II.	41
Příloha č.5- Protokol tahové zkoušky vzorek 5, série II.	42
Příloha č.6- Protokol tahové zkoušky vzorek 6, série II.	43
Příloha č.7- Protokol tahové zkoušky vzorek 7, série III.	44
Příloha č.8- Protokol tahové zkoušky vzorek 8, série III.	45
Příloha č.9- Protokol tahové zkoušky vzorek 9, série III.	46
Příloha č.10- Protokol tahové zkoušky vzorek 10, série IV.	47
Příloha č.11- Protokol tahové zkoušky vzorek 11, série IV.	48
Příloha č.12- Protokol tahové zkoušky vzorek 12, série V.	49
Příloha č.13- Protokol tahové zkoušky vzorek 13, série V.	50
Příloha č.14- Protokol tahové zkoušky vzorek 14, série V.	51
Příloha č.15- Protokol tahové zkoušky vzorek 15, série VI.	52
Příloha č.16- Protokol tahové zkoušky vzorek 16, série VI.	53

Příloha č.17- Protokol tahové zkoušky vzorek 17, série VI.	54
Příloha č.18- Atest materiálu série I., II., III.	55
Příloha č.19- Atest materiálu série IV.	56
Příloha č.20- Atest materiálu série V.	57
Příloha č.21- Atest materiálu série VI.	58
Příloha č.22- Snímek struktury plechu na začátku výroby, zvětšení 200x	59
Příloha č.23- Snímek struktury plechu na začátku výroby, zvětšení 500x	60
Příloha č.24- Snímek struktury plechu po skroužení a vypálení, zvětšení 200x	61
Příloha č.25- Snímek struktury plechu po skroužení a vypálení, zvětšení 500x	62
Příloha č.26- Snímek struktury plechu vzorek ze série VI., zvětšení 200x	63
Příloha č.27- Snímek struktury plechu vzorek ze série VI., zvětšení 500x	64

Seznam použitých zkratek

č.	číslo
Sb.	sbírka
TUL	Technická univerzita v Liberci
PHP	přenosný hasicí přístroj
s.r.o.	společnost s ručením omezeným
ČSN	Česká norma
ČSN EN	Česká norma – Evropská norma
BH	bake hardening
Obr.	obrázek
GP	Guinier – Preston
tj.	to je
tzv.	takzvaný
max.	maximální
Tab.	tabulka

Přehled veličin a jejich jednotky

Mez pevnosti	R _m [MPa]
Smluvní mez kluzu	R _{p0,2} [MPa]
Tažnost	A [%]
Teplota	t [°C]
Hustota zón	[cm ⁻³]
Vzdálenost, velikost	[nm]
Čas	[hod]

1. Úvod

Tématem mé bakalářské práce jsou „Změny pevnosti ocelového pláště přenosného hasicího přístroje (dále jen PHP) v důsledku stárnutí oceli“.

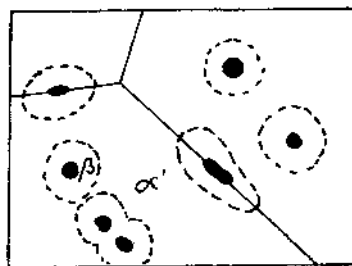
Toto téma bylo zadáno ve spolupráci s firmou Albeco s.r.o.. Cílem bakalářské práce je zaznamenat, jak se v průběhu času mění pevnostní charakteristiky oceli ČSN 11301.21 a zhodnotit, jakým způsobem tyto změny ovlivňují užité vlastnosti PHP z hlediska bezpečnosti. V teoretické části bakalářské práce jsou popsány děje, ke kterým dochází během stárnutí ocelí, charakteristiky ocelí pro hluboký tah, teorie k měření. V experimentální části jsou uvedeny - zjednodušený výrobní postup PHP, místa odběru vzorků a jejich specifikace, podmínky průběhu zkoušek a jejich výsledky, diskuze výsledků, závěr.

2. Fázové přeměny slitin železa v tuhém stavu

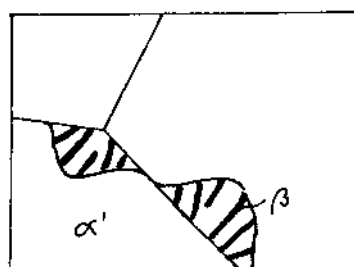
Polymorfie železa, změny rozpustnosti legur spojené s fázovými přeměnami a s poklesem teplot spolu se značnou rozdílností v hodnotách difuzivit intersticiálních (C,N) a substitučních prvků jsou příčinami značné variability v možných fázových přeměnách těchto slitin. Pozitivní využití fázových přeměn představuje tepelné zpracování, kterým lze měnit vlastnosti slitin železa v širokém rozsahu, který nemá obdoby u žádné jiné slitiny. Zvláštním druhem přeměny je *stárnutí oceli*, jev, který může působit negativně, ale i pozitivně. V případech ocelových konstrukcí svařovaných z nízkouhlíkových ocelí (dynamicky zatěžovaných o větších tloušťkách materiálu, konstrukce vystavené nízkým teplotám apod.) se stárnutí může projevit zkřehnutím, které může skončit až porušením konstrukce. Na druhé straně využíváme procesy stárnutí - precipitace k dosažení lepších mechanických vlastností, například u ocelí s BH efektem nebo nástrojových maraging ocelí.[1]

3. Precipitační rozpad tuhých roztoků

Podle způsobu tvorby rozpadové struktury rozdělujeme precipitaci na kontinuální (obr. 1a)[1] a diskontinuální (obr. 1b).[1]



Obr. 1a kontinuální precipitace

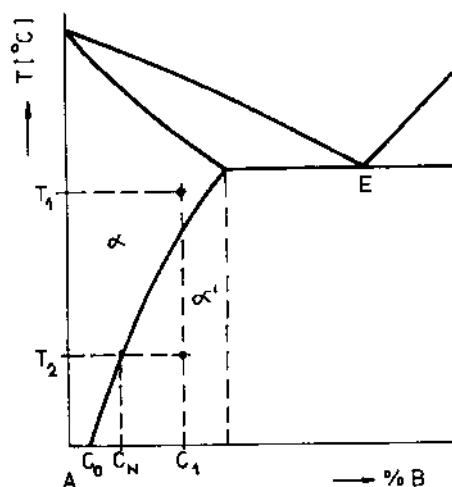


Obr. 1b diskontinuální precipitace

3.1. Kontinuální precipitace

Kontinuální precipitace probíhá v celém objemu slitiny současně. Nadbytek přísadového prvku přechází do precipitující fáze β (např. pro teplotu T_2 je nadbytek přísadového prvku dán rozdílem $(c_1 - c_N)$ viz obr.2) [1]. První fází precipitace je tvorba Guinierových-Prestonových zón (GP zón). Jsou to částice, v nichž se koncentruje převážná část nadbytečných atomů přísadového prvku. Obr.3a zobrazuje schématicky řez zónou deskového tvaru.

Rychlost tvorby zón v podstatě nezávisí na koncentraci přísadového prvku. V počátečním stádiu má zóna asi 100 atomů. Hustota zón bývá až 10^{18} cm^{-3} . Zóny jsou buď kulové nebo diskové, popřípadě jehlicovité a tvoří se uvnitř zrn. O vnitřní struktuře a složení zón je málo informací, z některých měření a vypracovaných modelů však vyplývá, že zóny obsahují 60 až 95% atomů přísadového prvku. Všechny zóny jsou koherentní se základní mřížkou a mají silný vliv na mechanické a fyzikální vlastnosti slitiny.



obr.2 Rovnovážný diagram se změnou rozpustnosti

V dalším průběhu stárnutí dochází k růstu zón a ke vzniku GP zón II.druhu (obr.3b) [1]. Jejich průměr je 10 až 40 nm a tloušťka 1 až 10 nm. Je to periodické uspořádání atomových vrstev přísadového prvku, které ve směru osy c mají menší vzdálenost (asi o 5%) než je parametr základní mřížky, zůstávají však trvale koherentní. Jejich hustota se snižuje, ale i přes to mají velký vliv na zvýšení pevnosti a tvrdosti a i na změnu fyzikálních vlastností. Při dosažení určité velikosti může dojít ke ztrátě koherence a začne se tvořit přechodový precipitát (obr.3c)[1]. Třebaže má zcela jiné uspořádání i strukturu (je tetragonální), může být se základní mřížkou v malých oblastech ještě částečně koherentní. Jeho vznik urychluje teplota. Běžná tloušťka je 10 až 30 nm a průměr 100 nm i více.

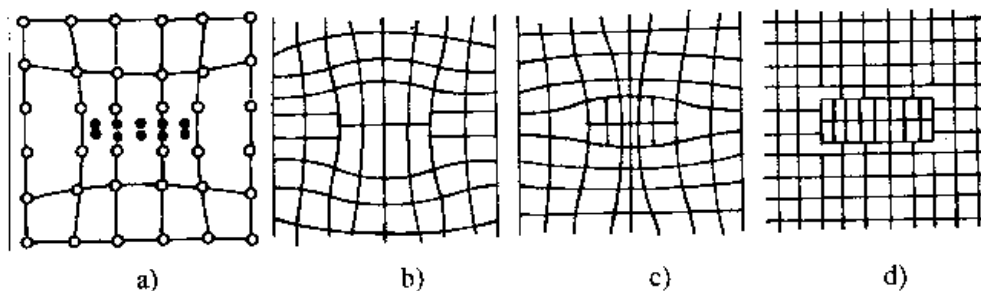
Vznik zárodků přechodového precipitátu je heterogenní - zárodky se přednostně tvoří na mřížkových poruchách, zejména na dislokacích a vrstevných chybách. Růst precipitátů je doprovázen rozpouštěním zón.

Při vyšší teplotě a dlouhé době se přechodový precipitát zcela přemění na stabilní precipitát (obr.3d)[1]. Stabilní precipitát má tetragonální mřížku s velkými rozdíly proti základní mřížce, je tedy zcela nekoherentní. Stav se blíží rovnovážnému, ale současně se zmenšuje vliv na mechanické a fyzikální vlastnosti. Tento stav se někdy nazývá jako přestárnutí.

Maximální zpevňující účinek mají tedy zóny, resp. přechodový precipitát. Kolem každé zóny nebo koherentního precipitátu se vytváří napěťové pole, jež je výrazné u jehlicových nebo destičkových útvarů, ale v podstatě nulové u kulových zón. Napěťové pole každé částice brzdí pohyb dislokací [1].

3.2. Diskontinuální precipitace

Při diskontinuální precipitaci nastává v určitých oblastech slitiny (buňkách) rozpad na rovnovážné fáze α a β (obr.3b)[1]. Tento mechanismus precipitace je poměrně málo obvyklý a dochází k němu ve značně přesycených tuhých roztocích (Pb-Sn, Mg-Al). Proces diskontinuální precipitace je podobný eutektoidnímu rozpadu [1].



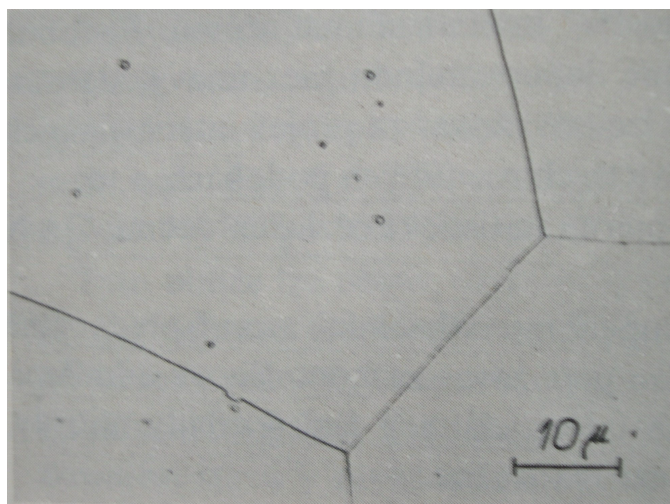
Obr.3 Růstové změny GP zón

4. Kontinuální precipitace tuhých roztoků ocelí

Kontinuální precipitace nastává v tuhých roztocích ocelí (ferit, austenit, martenzit), které se stávají přesycenými v průběhu teplotních změn. V případě martenzitu a zbytkového austenitu nerovnovážený, přesycený stav vzniká v průběhu martenzitické přeměny a ke kontinuální precipitaci dochází při popouštění. V ostatních případech je přesycení důsledkem zmenšení rozpustnosti některých legur v tuhém roztoku při snižování jeho teploty. Děje se tak ve feritu polymorfních ocelí při teplotách pod A_1 a ve feritu nebo v austenitu nepolymorfních vysocelegovaných ocelí.[2]

4.1. Polymorfní oceli

V polymorfních ocelích se rozpustnost uhlíku a dusíku ve feritu s klesající teplotou zmenšuje a po rychlejší ochlazení z teplot pod A_1 je ferit těmito prvky přesycen. Rychlým ochlazením, např. zamočením do vody z teploty blízké eutektoidní, lze zcela potlačit vylučování rovnovážných fází a metalografická struktura nízkouhlíkové oceli je tvořena pouze zrný feritu (obr.4) [2].



Obr.4 Struktura feritu nízkouhlíkové oceli po rychlém ochlazení (Nital)

V tomto stavu je ve feritu dostatek volných dislokací tj. atomy C a N neobsazených, pokud provedeme na oceli v tomto stavu tahovou zkoušku, zjistíme, že se neprojeví výrazná mez kluzu. Kontinuální precipitace začíná i za pokojové teploty difuzí atomů uhlíku a dusíku do příznivějších poloh kolem mřížkových poruch (zejména dislokací). Jelikož rozměry atomů C a N jsou menší než rozměry atomů matrice, jsou přitahovány do stlačených oblastí. V těchto oblastech se vytvářejí shluky atomů, které se nazývají Cottrelovy atmosféry. Se vznikem Cottrelových atmosfér se při tahové zkoušce objeví výrazná mez kluzu. Precipitační rozpad pokračuje segregací atomů C,N a z nehomogenního tuhého roztoku se vylučují koherentní precipitáty přechodových intersticiálních fází, bohatých uhlíkem a dusíkem ($\text{Fe}_{2,4}\text{C}, \text{Fe}_{16}\text{N}_2$). V tomto stádiu vzrůstá pevnost, mez kluzu, tvrdost, zmenšuje se tažnost a kontrakce, klesá vrubová houževnatost. Tento proces se označuje jako *stárnutí ocelí*.

Nepříznivé důsledky stárnutí jsou výrazné především u nízkouhlíkových ocelí (do 0,2%C), neboť při vyšším obsahu uhlíku jsou změny vlastností feritu překryty účinky perlitu. Při zvýšení teploty pokračuje stárnutí porušením koherence precipitátů, jejich náhradou precipitáty stabilních fází ($\text{Fe}_3\text{C}, \text{Fe}_4\text{N}$) a jejich postupným hrubnutím. Průběh stárnutí a změn vlastností i výsledná struktura feritu závisí na stupni jeho přesycení atomy uhlíku a dusíku, na vzájemném poměru jejich množství a na rozsahu a rozložení mřížkových poruch, zejména dislokací. Při daném obsahu C a N je stupeň přesycení feritu dán rychlostí ochlazování z teplotní oblasti nad příslušnou křivkou změny rozpustnosti. I když kalením lze vnést volné, snadno pohyblivé dislokace (a také zvýšit koncentraci vakancí), je zpravidla hlavním zdrojem pohyblivých dislokací plastická deformace při tváření zastudena. Z praktického hlediska proto dělíme stárnutí ocelí do dvou skupin, a to *stárnutí po kalení* a *stárnutí deformační* [2].

4.1.1. Stárnutí po kalení

Stárnutí nízkouhlíkových ocelí po kalení vyvolává zejména uhlík. Koncentrace dusíku, i když není vázán na stabilní nitridy (např. Al), je zpravidla poměrně malá. Tím se liší od stárnutí deformačního, u něhož je při nízkých teplotách rozhodujícím prvkem dusík. Vlastnosti se mění v souladu s teorií precipitačního vytvrzování a průběh izotermické precipitace C v rozmezí teplot 85-210°C dobře odpovídá rovnici Werta a Zenera [2].

$$x = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\tau}\right)^n\right]$$

x - je vyloučené poměrné množství precipitátů

τ - konstanta (tzv. časový faktor)

n - konstanta, závisající na geometrii rostoucích částic

t - čas

V ocelích lze schematicky popsat sled precipitačních pochodů následujícím způsobem:

Soustava Fe-C: přesycený ferit \rightarrow ferit+ ϵ -karbid \rightarrow Fe₃C

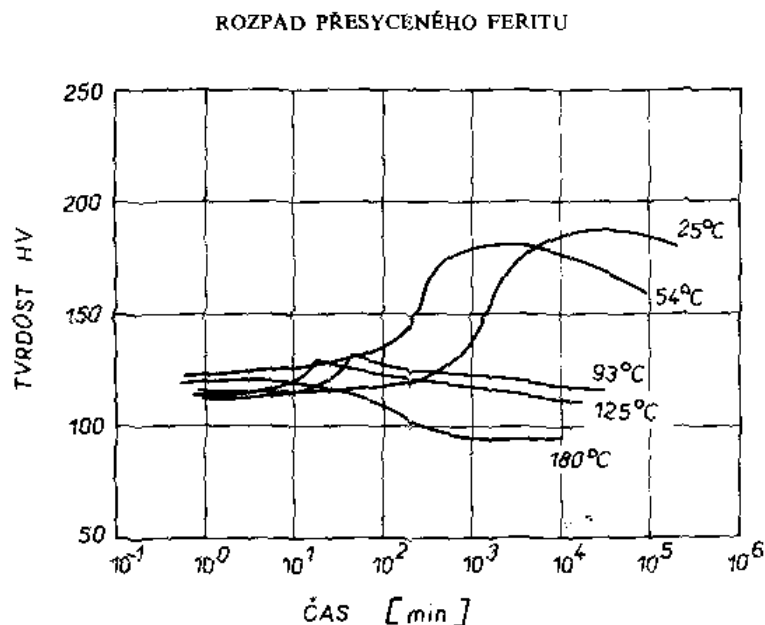
Soustava Fe-N: přesycený ferit \rightarrow ferit+ α -nitrid (Fe₁₆N₂) \rightarrow ferit+ γ -nitrid (Fe₄N)

Nukleace precipitujících fází probíhá přednostně na dislokacích a v případě značného přesycení také v matici (na shlucích vakancí). Růst precipitátů je podmíněn difúzí atomů C a N na velkou vzdálenost. Hrubozrnná ocel stárne rychleji a ve větším rozsahu než jemnozrnná, neboť v oblasti hranic zrn je vázáno méně intersticiálních atomů C a N, takže je k dispozici jejich větší počet schopných podílet se na precipitačním vytvrzování. Projevem přednostní precipitace na hranicích podzrn je tzv. žilkování ve feritu (obr.5) [2], které podle rozsahu pochodu lze vyložit zvýšenou koncentrací intersticiálních atomů a nebo i přítomností precipitátů.



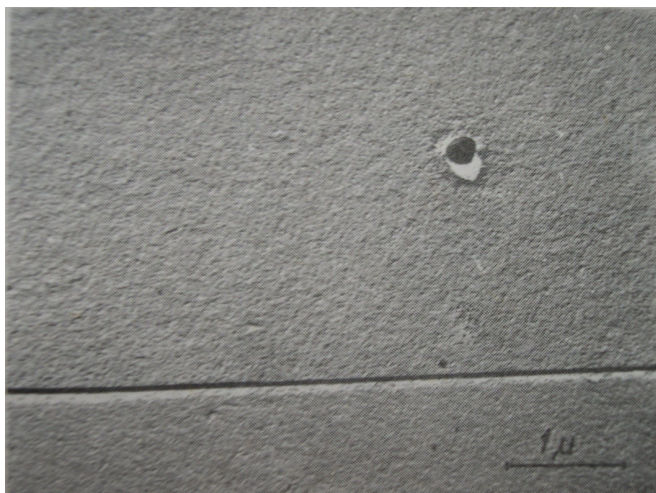
Obr.5 Přednostní precipitace na hranicích podzrn přesyceného feritu (žilkování feritu)

Na průběh precipitačního rozpadu přesyceného feritu, jako na každou difúzní fázovou přeměnu, má značný vliv teplota. Se vzrůstající teplotou se rychlost precipitačního rozpadu zvětšuje, jak prokazuje průběh změn tvrdosti nízkouhlíkové oceli, zamočené z teploty 700°C do vody a stárnuté při různých teplotách v rozmezí 25 až 180°C (obr.6) [2].



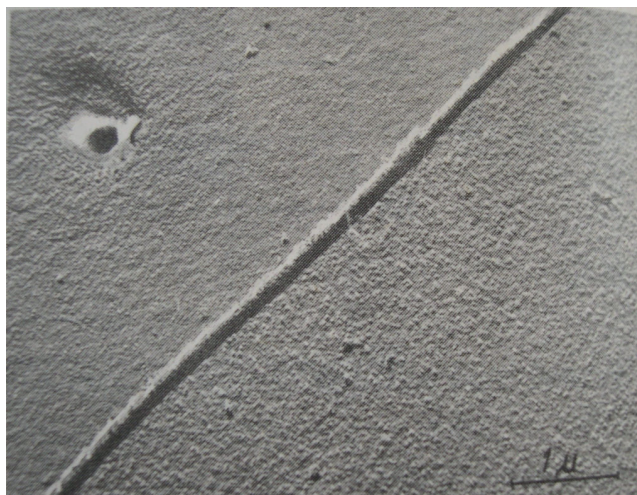
Obr.6 Změna tvrdosti nízkouhlíkové oceli zamočené z teploty 700°C v závislosti na čase a teplotě stárnutí

Tvrдост silně přesyceného tuhého roztoku při normální teplotě vzrůstá a po dosažení maxima (asi po 300 hod) zvolna klesá. Feritická matrice na vzestupné části křivky (po 25 hod, 25°C) vykazuje zdrsnění, ale ještě ne výrazné precipitáty (obr.7) [2].



Obr.7 Struktura přesyceného feritu po stárnutí při teplotě 25°C po 25 hodinách

Před maximem křivky tvrdosti (po 180 hod) se po vhodném leptání objevují oblasti, které lze s největší pravděpodobností považovat za precipitáty (obr.8) [2], jež v souladu s teorií precipitačního vytvrzování musí být koherentní.

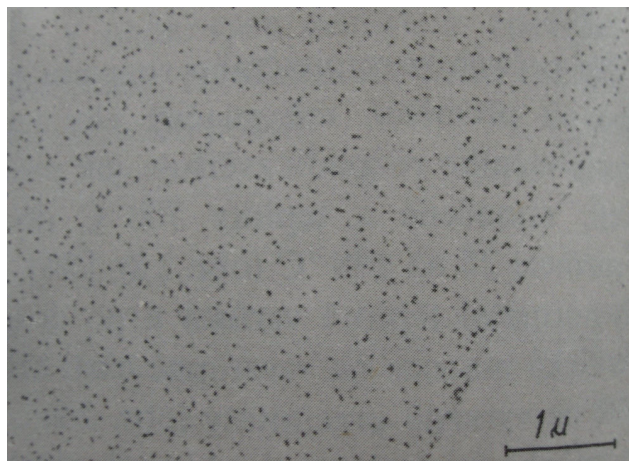


Obr.8 Struktura přesyceného feritu po stárnutí při teplotě 25°C po 180 hodinách

Na sestupné části křivky jsou precipitáty v matrici již jasně patrné (obr.9)[2] a o jejich přítomnosti svědčí také extrakční replika (obr.10)[2]. Při teplotě 54°C je průběh změn tvrdosti i struktury obdobný, jen je posunut ke kratším časům.

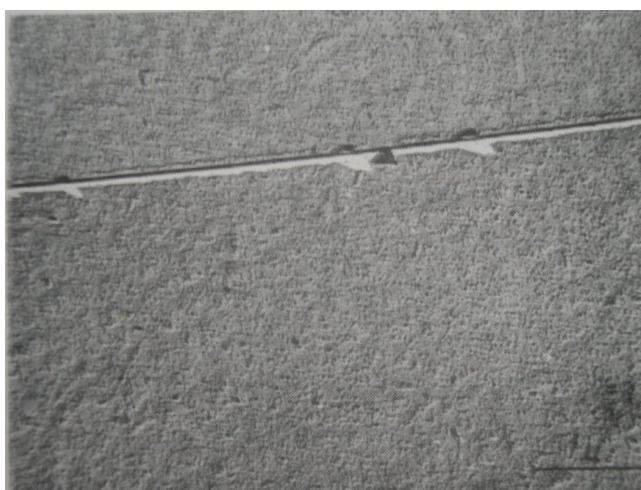


Obr.9 Struktura přesyceného feritu po stárnutí při teplotě 25°C po 3300 hodinách



Obr.10 Struktura přesyceného feritu po stárnutí při teplotě 25°C po 3300 hodinách-extrakční replika

Při vyšších teplotách se průběh pochodu velmi zrychluje a projevy předprecipitačního stádia jsou nevýrazné, zvýšení tvrdosti je jen mírné, precipitáty je možné objevit již po velmi krátké době (obr.11)[2] a velmi rychle pokračuje i hrubnutí precipitátů (obr.12) [2]. I když podstata pochodů při nízkých i vyšších teplotách je totožná, odlišují se někdy pochody jako vytvrzování zastudena a vytvrzování zatepla [2].



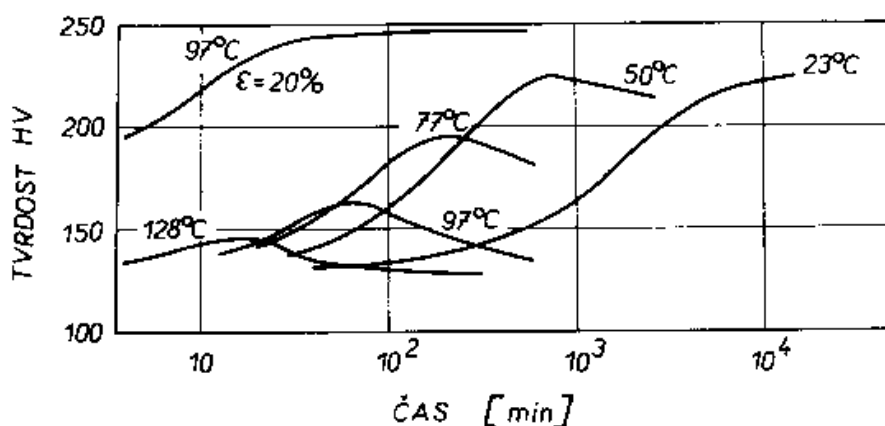
Obr.11 Struktura přesyceného feritu po stárnutí při teplotě 125°C po 5 minutách



Obr.12 Struktura přesyceného feritu po stárnutí při teplotě 125°C po 60 minutách

4.1.2. Stárnutí deformační

Na průběh stárnutí i na rozsah změn vlastností má značný vliv plastická deformace zastudena. Silně přesycený ferit se po tváření zastudena rozpadá podstatně rychleji. Změna vlastností je výraznější a má stabilnější ráz, jak ukazuje na obr.13 [2] průběh tvrdosti deformované oceli při stárnutí při teplotě 97°C ve srovnání se vzorky stárnutými bez deformace při teplotách v rozmezí 23 až 128°C.



Obr.13 Časový průběh tvrdosti při stárnutí přesyceného feritu za různých teplot a po tvárné deformaci zastudena ($\epsilon=20\%$)

Tento jev lze vysvětlit příznivějšími nukleačními podmínkami feritické matrice. Tvářením se značně zvýší počet dislokací, jejich shluky jsou vhodnými místy pro tvorbu zárodků při precipitačním rozpadu. Značný a rychlý růst tvrdosti je důsledkem velkého počtu vytvořených koherentních precipitátů.

Podstatně významnějším důsledkem tvárné deformace zastudena je však skutečnost, že projevy stárnutí lze zjistit také u ocelí, které jsou přibližně v rovnovážném stavu, tj. ve kterých tuhý roztok železa α není výrazně přesycen intersticiálními prvky. Příčinou je obsazování volných dislokací, které se vytvořily tvářením, atomy uhlíku a dusíku z tuhého roztoku α . V uhlíkových a nízkolegovaných ocelích se závažnější úloha přisuzuje dusíku, zejména pro jeho větší rozpustnost v železe α ; uhlík má významný vliv při silném přesycení, např. po rychlém ochlazení z teploty kolem A_1 před tvářením.

V soustavě Fe-C byly zjištěny projevy dynamického deformačního stárnutí i při teplotách 0°C . Vnější napětí vyvolává redistribuci atomů na různých polohách mřížky v těsné blízkosti dislokací za poklesu celkové energie soustavy. Intersticiální atomy se usazují podél dislokační čáry, vzniká tzv. Snoeckovo uspořádání. Při vyšších teplotách, kdy je již možná účinná difuze intersticiálních prvků na dlouhou vzdálenost, vytvářejí se Cottrellovy atmosféry. Účinnost jejich blokování dislokací je podstatně větší než už poměrně slabý efekt Snoeckova uspořádání, což se projevuje výraznějším zpevněním.

Při zvýšených teplotách je k dislokacím přitahováno více atomů intersticiálních prvků, než může tuhý roztok podél dislokace pojmout, a postupně dochází k jejich shlukování a k precipitaci. Průběh deformačního stárnutí se v tomto stádiu stává obdobný stárnutí po zakalení [2].

4.2. Nepolymorfní oceli

Precipitační rozpad tuhých roztoků nepolymorfních, bohatě legovaných ocelí feritických a austenitických, má značný význam jak v kladném, tak v záporném smyslu. U obou typů ocelí vede precipitace karbidů, vyvolaná zmenšující se rozpustností uhlíku v příslušných tuhých roztocích, ke zkřehnutí a také ke snížení odolnosti vůči mezikrystalové korozi. Např. za zvýšených teplot (nad 450°C) nebo při pomalém ochlazování z vysokých teplot se z tuhého roztoku vylučují karbidy (resp. nitridy) bohaté chromem přednostně na hranicích zrn, v přilehlých oblastech hranic klesne hladina chromu pod kritickou hodnotu (asi 12% Cr) a odolnost proti korozi zde klesá.

Velmi výrazného zpevnění austenitických ocelí se dosahuje precipitačním rozpadem přesyceného austenitu (po rozpouštěcím žíhání 1100 až 1180°C) při stárnutí (700 až 780°C). Tyto vytvrditelné austenitické oceli obsahují vedle základních legur (Ni, Cr) další přísady (W, Mo, V, Ti, B, Al), které se podílejí na tvorbě vytvrzujících fází, resp. na substitučním zpevnění [1].

5. Oceli na hluboký tah

Z těchto ocelí se vyrábějí tvářením zastudena, ale i zatepla, plechy vhodné pro další zpracování zastudena. Aby probíhala plastická deformace při tažení již při nízkém napětí, požaduje se co nejnížší mez kluzu. Nejjakostnější oceli mají mez kluzu max. 160 MPa, tažnost minimálně 45%. Poměr $(Re:Rm) \cdot 100$ u jakostních ocelí je asi 60%, u běžných je vyšší než 75%. Pokud je tento poměr dostatečně nízký, plech při tváření nepruží a dá se lehce deformovat. Hlubokotažné oceli musí mít plastické vlastnosti v celém tvářeném objemu, vyhovující tloušťkovou toleranci, minimální sklon ke stárnutí a nízkou cenu. Při lisování se nemají tvořit na povrchu deformační čáry. Technické dodací podmínky hlubokotažných plechů udává ČSN 42 0128, rozměry ČSN 42 5302.

Vlastnosti hlubokotažných plechů ovlivňuje dovalcovávací a svinovací teplota a chemické složení.

Mez kluzu zvyšuje zejména uhlík, jehož obsah se proto snižuje na 0,10%. Matrici má tvořit ferit s malým množstvím perlitu. Ve struktuře nemá být vyloučen na hranicích zrn terciální cementit, který snižuje plastické vlastnosti.

Sekundární metalurgie používaná dnes v hutnických závodech umožňuje vyrábět ekonomicky oceli s obsahem uhlíku max. 0,02%. Tento obsah je již tak nízký, že uhlík zůstává při rychlejším ochlazení rozpuštěn ve feritu. Tvářitelnost plechů se zlepšuje, pokud jsou ve struktuře feritická zrna čočkovitého tvaru orientovaná delšími osami ve směru tváření.

Obsah manganu se pohybuje mezi 0,20 až 0,60%, protože mangan zvyšuje pevnost feritu. Určité množství manganu je nutné na vázání síry, aby se zaručila tvářitelnost zatepla. Obsah křemíku má být co nejnížší, protože zvyšuje mez kluzu a pružnosti. Podle některých autorů je vhodné snížit ho pod 0,05%. Fosfor zpevňuje ferit a zvyšuje jeho křehkost. Omezuje se proto na max. 0,030 až 0,035%. Obsah síry musí být co nejnížší, protože sulfidy zhoršují tvářitelnost. Chrom, nikl, molybden a měď zvyšují pevnost feritu, jejich obsah má být proto nižší než 0,12 až 0,15%.

Oceli na hluboký tah se odlévají jako neuklidněné nebo uklidněné. Plechy z neuklidněných ocelí mají lepší povrch a hrubší zrna. Pokud se však vyrábějí válcováním zastudena, je nutné zpracovat je asi do čtyř týdnů, protože při delším skladování stárnou, přičemž se zvyšuje mez kluzu a klesá tažnost.

Oceli uklidněné hliníkem mají menší sklon ke stárnutí, ale jemnější zrna, takže mají vyšší mez kluzu. Obsah hliníku je asi 0,02 až 0,05%. Dusík je možno vázat titanem nebo vanadem, které tvoří nitridy TiN a VN. Nevýhodou uklidněných ocelí je horší povrch ingotu a tím i plechu.

Na smaltované plechy jsou vhodné hlubokotažné neuklidněné oceli s nízkým obsahem uhlíku a síry (např. 11 301, 11 304). Uhlík může při vypalování reagovat s oxidy smaltu, síra podporuje zvyšování obsahu vodíku. V obou případech se snižuje po vypálení jakost smaltu.

Podle ČSN 42 0127 se rozdělují tenké ocelové plechy na tažení válcované zastudena na plechy vhodné na mírné, střední, hluboké a velmi hluboké tažení.

Tab.1 Oceli na hluboký tah

značka	chemické složení v %					Skupina ¹⁾	Způsob ²⁾ výroby
	C max.	Mn max.	Si max.	P max.	S max.		
11 300	0,09			0,04	0,040	HT	N
11 301	0,08	0,40		0,03	0,030	HT	N
11 304	0,07	0,40		0,03	0,025	VT	N
11 305	0,07	0,40		0,03	0,025	VT, MIN 0,025%Al	U
11 320	0,11			0,05	0,045	HT	N,PU
11 321	0,10	0,45		0,04	0,035	ST	N
11 325	0,10	0,45		0,04	0,035	ST, MIN 0,020% Al	U
11 330	0,13			0,05	0,050	MT	N
11 331	0,11	0,45		0,04	0,035	MT	N
11 402	0,10	0,55	0,15	0,03	0,030	VT, MIN 0,06-0,20%Ti	U
12 011	0,09	0,2-0,45	0,15	0,04	0,040	MIN 0,020% Al	1

1) Označení skupin viz tab.2

2) N- neuklidněná, U- ukladněná, PU- poloukladněná, 1- zvýšená odolnost proti stárnutí

Tab.2 Rozdělení ocelí na hluboký tah podle ČSN 42 0127

označení	Charakteristika
MT	vhodné na mírné tažení
ST	vhodné na střední tažení
HT	vhodné na hluboké tažení
VT	vhodné na velmi hluboké tažení

6. Teorie zpracování dat

6.1. Popis měřených hodnot

Pro zjištění změn mezí kluzů $R_{p0,2}$, mezí pevností R_m a tažností A budou provedeny tahové zkoušky na patnácti vzorcích rozdělených v pěti sériích po třech (více viz kap 9.). Dále budou zařazeny dvě měření, jejichž hodnoty byly získány z archivu firmy Albeco s.r.o.. Hodnoty budou zapsány do tabulky.

6.2. Postup při zpracování opakovaných měření

1. Hodnoty x_1, \dots, x_n , získané n-krát opakovaným měřením téže fyzikální veličiny za stejných podmínek máme zapsány do tabulky. V tabulce je uvedeno označení fyzikální veličiny a její jednotky.
2. Vypočítáme aritmetický průměr \bar{x} všech naměřených hodnot $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

3. Vypočítáme výběrovou směrodatnou odchylku (jednoho měření) σ_{n-1}

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

4. Vypočítáme výběrovou směrodatnou odchylku \bar{s} střední hodnoty (aritmetického průměru).

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n * (n-1)}}$$

5. Výslednou krajní chybu aritmetického průměru $\bar{\kappa}(x)$ vypočítáme ze vztahu $\bar{\kappa} = t_{p,n} * \bar{s}(x)$, $t_{p,n}$ pro pravděpodobnost 95% a riziko $\alpha = 5\%$ je 4,3 ; pro pravděpodobnost 68,3% a riziko $\alpha = 5\%$ je 1,84.

6. Výslednou chybu měření zaokrouhlíme na jednu platnou cifru, a to vždy směrem nahoru. Aritmetický průměr zaokrouhlíme na číslici téhož řádu, jako je řád uváděné chyby měření.

7. Výsledek zapíšeme ve tvaru $x = (\bar{x} \pm t_{p,n} * \bar{s})$ x fyzikální jednotka, s udáním pravděpodobnosti P.

8. Hodnoty s chybovými úsečkami budou vyneseny do grafu.

Část experimentální

7. Zjednodušený výrobní postup PHP

1. Z plechových přístřihů kruhového tvaru (obr.15) se na lisu vytáhnou dna a horní víka PHP (obr.16, 17).



Obr.15 kruhové přístřihy

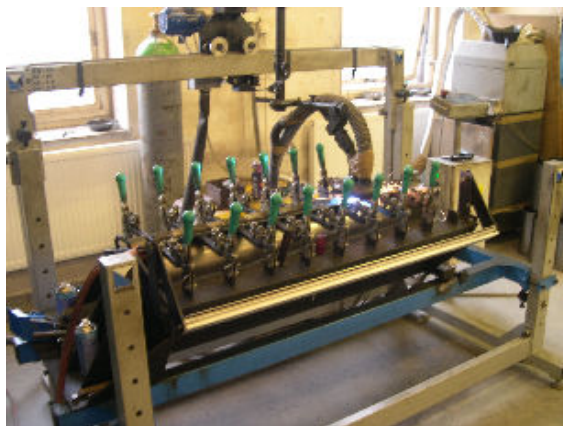


Obr.16 dno PHP



Obr.17 horní víko PHP

2. Z tabulí o rozměrech 1,50x310x493 mm se skrouží a na automatu (obr.18) svaří střední díl pláště PHP.



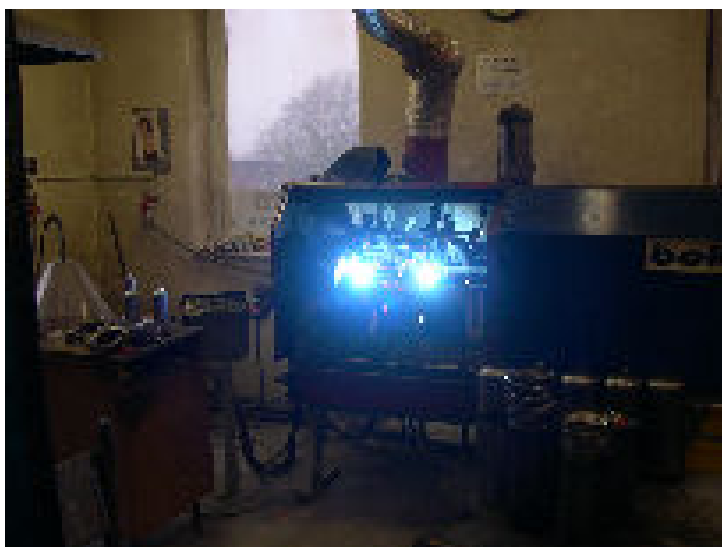
obr.18 svářečí automat

3. Horní víko je opatřeno hrdlovým kroužkem, který se přivaří.
4. Na střední díl PHP jsou přivařeny držáky pro zavěšení.
5. Obsluha vloží do svářecího automatu (obr.19) střední díl, do kterého narazí pryžovou paličkou horní víko a dno (oba tyto díly jsou opatřeny osazením).



Obr.19 svářecí automat

6. Automat vytvoří obvodové svary (obr.20), čímž vznikne obal PHP (obr.21).



Obr.20



Obr.21 Obal PHP po svaření

7. Na obalu PHP se provede tlaková zkouška vodou přetlakem 27bar.
8. Obal PHP se odmastí a opatří se vrstvou práškové barvy Komaxit E. Barva se vypaluje v peci při teplotě 190°C, po dobu 15 minut.
9. PHP se naplní hasivem, opatří stoupací trubicí a natlakuje na provozní tlak 15bar.
10. Obal je opatřen obrázkovým návodem.
11. PHP je zabalen a připraven k expedici.

8. Technické parametry PHP

Max. hmotnost plného PHP	9,8kg
Hasivo-jmenovitá hmotnost	6kg
Dovolená odchylka hmotnosti	+/- 2%
Druh prášku	ABC 50
Minimální doba činnosti	12s
Max. zbytek hasiva	10%
Teplotní rozsah použití	-20 až +60oC
Výtlačný plyn	Dusík
Pracovní přetlak	15 bar +/-0,5 bar
Přetlak při +60°C	17,5 bar +/- 0,5 bar
Zkušební přetlak	Min. 27 bar

9. Odběr vzorků a jejich specifikace

Pro zjištění změn mezí kluzů $R_{p0,2}$, mezí pevností R_m a tažností A budou provedeny tahové zkoušky na patnácti vzorcích rozdělených v pěti sériích po třech. Dále budou zařazena dvě měření, jejichž hodnoty byly získány z archivu firmy Albeco s.r.o..

Série I.

Vzorky pro určení stavu materiálu na vstupu do výroby. Materiál 11 301.21 dle ČSN 41 1301 má být ve stavu rekrystalizačně žíhaném, s nejvyšší povolenou mezí kluzu $R_{p0,2} = 235$ MPa a mezí pevnosti $R_m = 280$ až 370 MPa.

Vzorky budou odebrány z tabule rovného plechu o rozměrech $1,50 \times 310 \times 493$ mm, která je připravena ke skroužení.

Série II.

Vzorky odebrané po skroužení plechu (viz kap.7.bod 2.). Tahové zkoušky provedené na těchto vzorcích prokáží stav materiálu po plastické deformaci.

Série III.

Vzorky odebrané z nádoby PHP po vypalování práškové barvy komaxit E (viz kap. 7. bod 8.). Tahové zkoušky na těchto vzorcích prokáží zrychlené stárnutí za působení tepla během vypalování.

Výrobní číslo PHP:	13909-07
Datum výroby:	3.4.2007
Datum provedení tahových zkoušek:	12.4.2007
Stáří nádoby PHP:	cca 216 hod (9 dnů)

Materiál vzorků v sériích I.,II.,III. je identický. Mechanické hodnoty a případně chemické složení viz atest – příloha č.18

Série IV.

V sérii IV. jsou zahrnuty dvě tahové zkoušky provedené SZÚ s.p. Jablonec nad Nisou na vzorcích odebraných z obalu PHP

Výrobní číslo PHP:	4572-05
Datum výroby:	25.1.2005
Datum provedení tahových zkoušek:	21.9.2006
Stáří nádoby PHP:	cca $1,3 \cdot 10^4$ hod (19 měsíců)

Více viz atest – příloha č.19

Série V.

Výrobní číslo PHP:	03890-03
Datum výroby:	31.7.2003
Datum provedení tahových zkoušek:	12.4.2007
Stáří nádoby PHP:	cca $2,3 \cdot 10^4$ hod (32 měsíců)

Více viz atest – příloha č.20

Série VI.

Výrobní číslo PHP:	0750-97
Datum výroby:	16.11.1997
Datum provedení tahových zkoušek:	12.4.2007
Stáří nádoby PHP:	cca $7,3 \cdot 10^4$ hod (101 měsíců)

Více viz atest – příloha č.21

Zkoušky na sériích IV.,V.,VI. prokáží případné změny meze pevnosti a meze kluzu v průběhu devíti let.

10. Podmínky experimentu

Všechny tahové zkoušky probíhaly v souladu s ČSN EN 10002-1, při teplotě okolí $20^{\circ}\text{C}_{-10}^{+15}$ a rychlosti deformace $c=0,00025-0,0025 \text{ s}^{-1}$. Zkoušky na sériích I,II,III,V,VI byly provedeny na zkušebním zařízení FP 100-Lab Test II s maximální zátěží 100kN. Zkoušky na sérii IV byly prováděny na zařízení dodaném firmou VEB-TIW Rauenstein/Labortech Opava s maximálním rozsahem 20 kN.

11. Naměřené a vypočítané hodnoty

11.1. Výpočet směrodatné odchylky a krajní chyby

Série I.:

Rp0,2

$$\bar{x} = 209,166\bar{6}$$

$$\sigma_{n-1} = 3,670004541$$

$$\bar{s} = 2,11887811$$

$$t_{0,95,3} = 4,3$$

$$\bar{k}(x) = 9,111 \cong 10$$

$$Rp0,2 = (210 \pm 10)MPa, P = 95\%$$

Rm

$$\bar{x} = 315,12$$

$$\sigma_{n-1} = 1,07684725$$

$$\bar{s} = 0,621718049$$

$$t_{0,95,3} = 4,3$$

$$\bar{k}(x) = 2,673 \cong 3$$

$$Rm = (315 \pm 3)MPa, P = 95\%$$

A

$$\bar{x} = 36,04$$

$$\sigma_{n-1} = 0,850352867$$

$$\bar{s} = 0,376464444$$

$$t_{0,95,3} = 4,3$$

$$\bar{k}(x) = 1,618 \cong 2$$

$$A = (36 \pm 2)\%, P = 95\%$$

Série II.

Rp0,2

$$\bar{x} = 249,4566667$$

$$\sigma_{n-1} = 5,969994417$$

$$\bar{s} = 0,9974964$$

$$t_{0,95,3} = 4,3$$

$$\bar{k}(x) = 4,289 \cong 5$$

$$Rp0,2 = (250 \pm 5)MPa, P = 95\%$$

Rm

$$\bar{x} = 345,9266667$$

$$\sigma_{n-1} = 7,837157223$$

$$\bar{s} = 1,142887952$$

$$t_{0,95,3} = 4,3$$

$$\bar{k}(x) = 4,914 \cong 5$$

$$Rm = (346 \pm 5)MPa, P = 95\%$$

A

$$\bar{x} = 33,8633\bar{3}$$

$$\sigma_{n-1} = 0,487476495$$

$$\bar{s} = 0,285036984$$

$$t_{0,95,3} = 4,3$$

$$\bar{\kappa}(x) = 1,225 \cong 2$$

$$A = (34 \pm 2)\%, P = 95\%$$

série III.

Rp0,2

$$\bar{x} = 260,6166667$$

$$\sigma_{n-1} = 4,234457856$$

$$\bar{s} = 0,8400851$$

$$t_{0,95,3} = 4,3$$

$$\bar{\kappa}(x) = 3,612 \cong 4$$

$$Rp0,2 = (261 \pm 4)MPa, P = 95\%$$

Rm

$$\bar{x} = 336,5133\bar{3}$$

$$\sigma_{n-1} = 4,647680425$$

$$\bar{s} = 0,880121244$$

$$t_{0,95,3} = 4,3$$

$$\bar{\kappa}(x) = 3,784 \cong 4$$

$$Rm = (337 \pm 4)MPa, P = 95\%$$

A

$$\bar{x} = 32,6133\bar{3}$$

$$\sigma_{n-1} = 1,645914133$$

$$\bar{s} = 0,523754734$$

$$t_{0,95,3} = 4,3$$

$$\bar{\kappa}(x) = 2,252 \cong 3$$

$$A = (33 \pm 3)\%, P = 95\%$$

série IV.

Rp0,2

$$\bar{x} = 255$$

$$\sigma_{n-1} = 9,899494937$$

$$\bar{s} = 7$$

$$t_{68,3,2} = 1,84$$

$$\bar{\kappa}(x) = 12,88 \cong 20$$

$$Rp0,2 = (260 \pm 20)MPa, P = 63,8\%$$

Rm

$$\bar{x} = 341,5$$

$$\sigma_{n-1} = 6,363961031$$

$$\bar{s} = 4,5$$

$$t_{63,8,2} = 1,84$$

$$\bar{\kappa}(x) = 8,28 \cong 9$$

$$Rm = (342 \pm 9)MPa, P = 63,8\%$$

série V.

Rp0,2

$$\bar{x} = 247,6266667$$

$$\sigma_{n-1} = 7,732207533$$

$$\bar{s} = 1,135209785$$

$$t_{0,95,3} = 4,3$$

$$\bar{\kappa}(x) = 4,881 \cong 5$$

$$Rp0,2 = (248 \pm 5)MPa, P = 95\%$$

Rm

$$\bar{x} = 324,74$$

$$\sigma_{n-1} = 6,77245155$$

$$\bar{s} = 1,062422668$$

$$t_{0,95,3} = 4,3$$

$$\bar{\kappa}(x) = 4,568 \cong 5$$

$$Rm = (325 \pm 5)MPa, P = 95\%$$

A

$$\bar{x} = 36,2733\bar{3}$$

$$\sigma_{n-1} = 1,063265411$$

$$\bar{s} = 0,420964252$$

$$t_{0,95,3} = 4,3$$

$$\bar{\kappa}(x) = 1,810 \cong 2$$

$$A = (36 \pm 2)\%, P = 95\%$$

série VI.

Rp0,2

$$\bar{x} = 259,8066667$$

$$\sigma_{n-1} = 3,876033196$$

$$\bar{s} = 0,803744693$$

$$t_{0,95,3} = 4,3$$

$$\bar{\kappa}(x) = 3,456 \cong 4$$

$$Rp0,2 = (260 \pm 4)MPa, P = 95\%$$

Rm

$$\bar{x} = 330,2633\bar{3}$$

$$\sigma_{n-1} = 2,804163571$$

$$\bar{s} = 0,683637766$$

$$t_{0,95,3} = 4,3$$

$$\bar{\kappa}(x) = 2,939 \cong 3$$

$$Rm = (330 \pm 3)MPa, P = 95\%$$

A

$$\bar{x} = 33,3733\bar{3}$$

$$\sigma_{n-1} = 1,021975212$$

$$\bar{s} = 0,412709585$$

$$t_{0,95,3} = 4,3$$

$$\bar{\kappa}(x) = 1,774 \cong 2$$

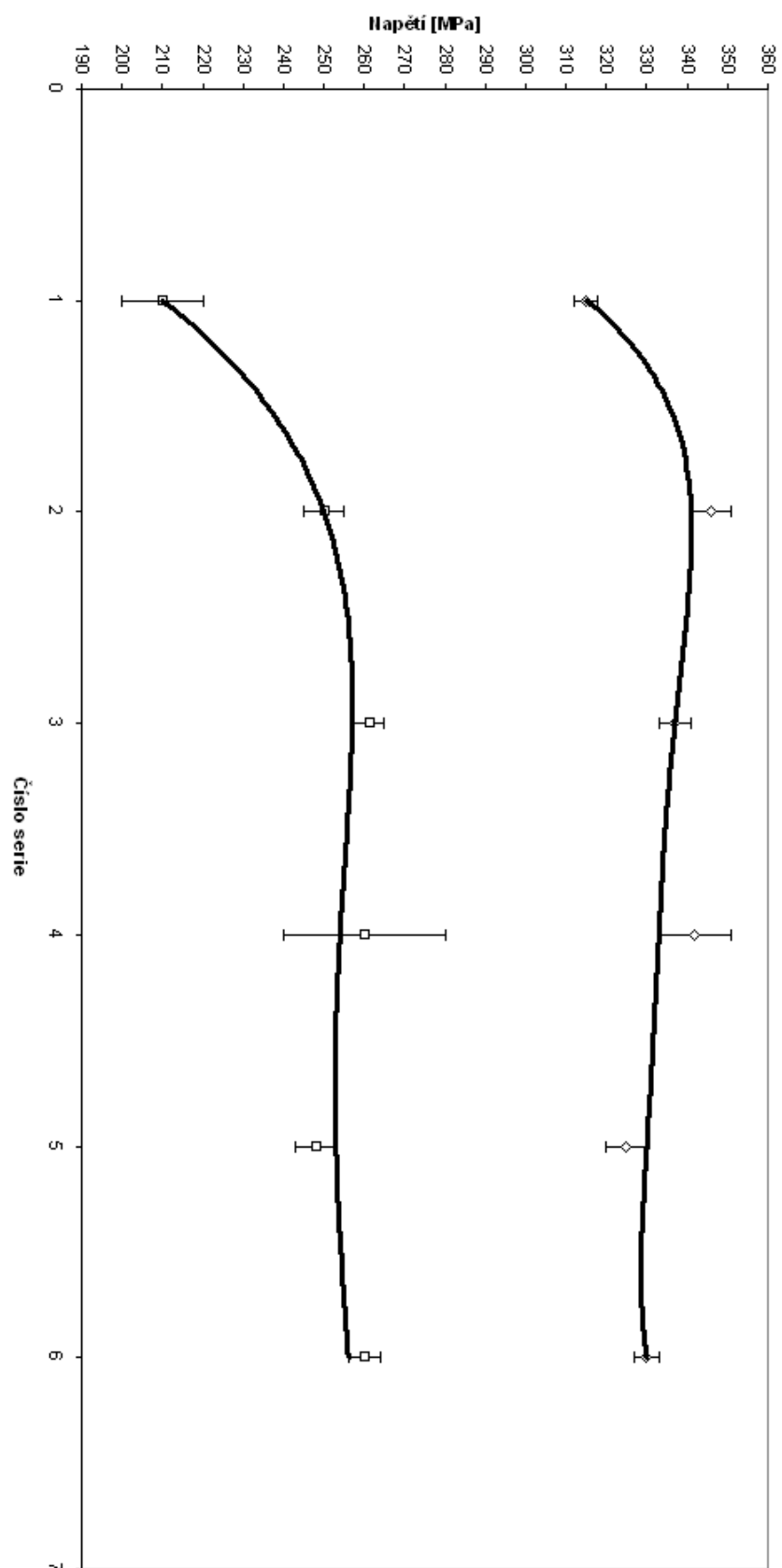
$$A = (33 \pm 2)\%, P = 95\%$$

11.2.Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot

Tab.3- Naměřené a vypočítané hodnoty

č.série	č.vzorku	R _m [MPa]	průměrná hodnota R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	průměrná hodnota R _{p0,2} [MPa]	A ₁₀₀ [%]	průměrná hodnota A ₁₀₀ [%]
I.	1	313,98	315±3; P=95%	205,50	210±10; P=95%	36,83	36±2; P=95%
	2	316,12		212,84		35,14	
	3	315,26		209,16		36,15	
II.	4	354,82	346±5; P=95%	256,34	250±5; P=95%	33,92	34±2; P=95%
	5	340,03		246,34		33,35	
	6	342,93		245,69		34,32	
III.	7	333,84	337±4; P=95%	259,91	261±4; P=95%	34,51	33±3; P=95%
	8	333,82		256,78		31,77	
	9	341,88		265,16		31,56	
IV.	10	346,00	342±9; P=68,3%	248,00	260±20; P=68,3%	-	
	11	337,00		262,00		-	
	-	-		-		-	
V.	12	326,25	325±5; P=95%	247,84	248±5; P=95%	35,32	36±2; P=95%
	13	317,34		239,79		37,42	
	14	330,63		255,25		36,08	
VI.	15	329,63	330±3; P=95%	256,87	260±4; P=95%	32,39	33±2; P=95%
	16	333,33		258,35		34,43	
	17	327,83		264,20		33,30	

Změny meze pevnosti a meze kluzu pro serie I-VI.



obr.21 změny meze kluzu (□) a meze pevnosti (◇)

11.Diskuze výsledků

Výsledky tahových zkoušek provedených na vzorcích série I. ukazují, že materiál na počátku výroby má průměrnou mez pevnosti $R_m = 315$ MPa a průměrnou mez kluzu $R_{p0,2} = 209$ MPa. Mez kluzu se zvýšila o cca 25 MPa, mez pevnosti R_m se prakticky nezměnila (rozdíl 4 MPa) oproti atestu materiálu, viz příloha č.18, kde jsou uvedeny hodnoty $R_{p0,2}$ a R_m zjištěné bezprostředně po výrobě plechu. Tento nárůst mechanických hodnot, odpovídá stárnutí materiálu po dobu cca čtyř týdnů, které odpovídá době mezi vyrobením a zpracováním plechu. Naměřené hodnoty odpovídají požadavkům normy ČSN 41 1301. Struktura materiálu zjištěná za pomoci optické mikroskopie je feritická, homogenní a rovnoměrná (viz obr.22).



obr. 22 snímek struktury plechu na začátku výroby, zvětšení 200x, Nital



obr.23 snímek struktury plechu po skroužení a vypálení, zvětšení 200x, Nital

Výsledky tahových zkoušek série II. ukazují, že skroužením materiálu dochází k deformačnímu zpevnění. Nárůst hodnot oproti sérii I. činí u meze kluzu $R_{p0,2}$ cca 40 MPa a u meze pevnosti cca 30 MPa. Tažnost vykazuje mírný pokles.

Výsledky tahových zkoušek provedených na vzorcích série III. prokazují, že během vypalování laku dochází ke zrychlenému stárnutí materiálu zatepla. Mez pevnosti vykazuje mírný pokles o cca 9 MPa, mez kluzu se naopak zvýšila o dalších cca 10 MPa. Tažnost vykazuje mírný pokles.

Struktura materiálu série III. (viz obr.23) je feritická, ale je možno pozorovat zvýšené množství stabilních precipitátů ve formě karbidů. Tyto karbidy způsobují nárůst meze kluzu. Jelikož cementit a karbidy jiných prvků jsou stabilním precipitátem, lze se domnívat, že se precipitace po vypálení laku nachází v posledním stádiu, materiál se blíží rovnovážnému stavu a k dalším změnám mechanických hodnot nebude docházet. Tento závěr potvrzují tahové zkoušky provedené na sériích IV., V., VI.. Poněkud nižší mechanické hodnoty u série V., lze přisuzovat tomu, že tyto byly nižší již u materiálu po vyválnování v hutích (viz atest- příloha č.19).*

Celkový nárůst meze kluzu i meze pevnosti lze označit za ne příliš významný. Tento fakt prokazuje, že materiál používaný na výrobu pláštů PHP výrazně nepodléhá stárnutí. Zvýšená odolnost proti stárnutí je způsobená sníženým množstvím uhlíku oproti hodnotám uváděným v normě ČSN 41 1301 a tím, že se jedná o ocel uklidněnou přidavkem hliníku.

Pro firmu Albeco s.r.o. z předešlého vyplývá, že není potřeba změn v použití materiálu ani technologií.

12.Závěr

Provedením tahových zkoušek dle ČSN EN 10002-1 a jejich vyhodnocením bylo zjištěno, že ke změnám pevnosti materiálu 11301.21 použitým na obalech PHP dochází a to během výroby.

Jedná se o zpevnění vzniklé v důsledku deformačního zpevnění a následného stárnutí zatepla (viz výsledky sérií I., II., III.).

Série IV.,V.,VI. ukazují, že během užívání výrobku po dobu devíti let nedochází ke změnám pevnosti obalů PHP a tím ani bezpečnosti uživatele.

*

Snímky struktur série I., III.,VI.jsou ve formě příloh 22 až 27

Použitá literatura

- [1] Ptáček L. a kolektiv: Nauka o materiálu I., Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2003
- [2] Píšek F., Jeníček L., Ryš P.: Nauka o materiálu I-4., ACADEMIA, 1975
- [3] Fremunt P., Podrábský T.: Konstrukční oceli, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 1996
- [4] Machonský L., Buriánová L., Čmelík M.: Fyzikální laboratoře, Technická univerzita v Liberci, 2004
- [5] Alaxin J. a kolektiv: Nauka o materiálu, Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1989
- [6] Macek K., Zuna P., Cejp J., Janovec J., Kořínek Z., Steidl J.: Strojírenské materiály, České vysoké učení technické v Praze, 2003
- [7] Pluhař J., Puškár A., Koutský J., Macek K., Beneš V.: Fyzikální metalurgie a mezní stavy materiálu, Nakladatelství technické literatury n.p. Praha, 1987
- [8] Kraus V. : Technologie tepelného zpracování II., Západočeská univerzita, 1994
- [9] Materiály z archivu firmy Albeco s.r.o.

Protokol o zkoušce tahem

Technická univerzita v Liberci

Katedra materiálu Fs, Hálkova 6, 461 17 Liberec 1, tel : +420 48 535 3392

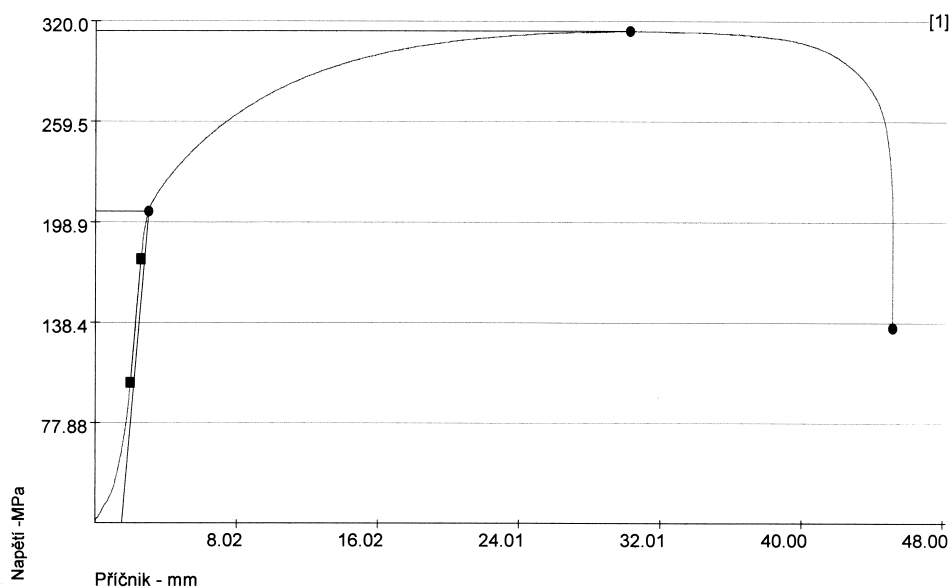
vstupní údaje

Název materiálu : 11 301.1 Typ vzorku : 1

Datum testu : 12.4.2007 Zkoušející : m. vyvlečka

vypočtené údaje

Zkouška	R _m MPa	R _{p0.2} MPa	A %
1	313.98	205.50	36.83



Protokol o zkoušce tahem

Technická univerzita v Liberci

Katedra materiálu Fs, Hálkova 6, 461 17 Liberec 1, tel : +420 48 535 3392

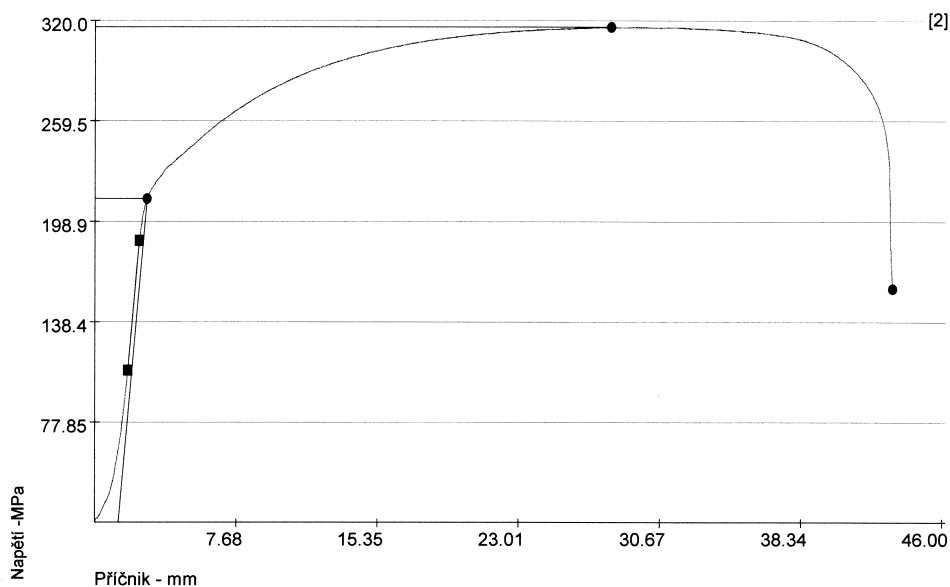
vstupní údaje

Název materiálu : 11 301.1 Typ vzorku : 1

Datum testu : 12.4.2007 Zkoušející : m. vyvlecka

vypočtené údaje

Zkouška	R _m MPa	R _{p0.2} MPa	A %
2	316.12	212.84	35.14



Protokol o zkoušce tahem

Technická univerzita v Liberci

Katedra materiálu Fs, Hálkova 6, 461 17 Liberec 1, tel : +420 48 535 3392

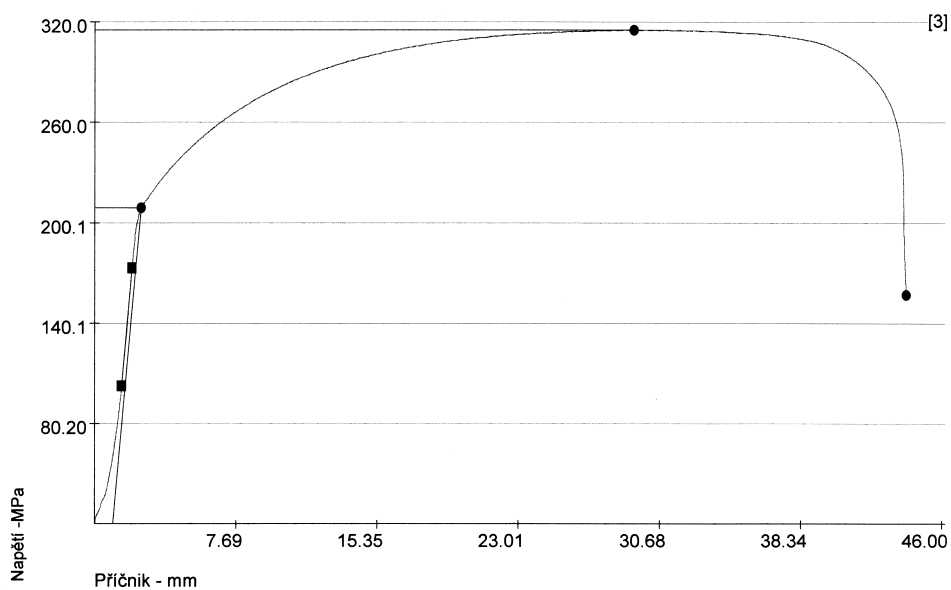
vstupní údaje

Název materiálu : 11 301.1 Typ vzorku : 1

Datum testu : 12.4.2007 Zkoušející : m. vyvlečka

vypočtené údaje

Zkouška	R _m MPa	R _{p0.2} MPa	A %
3	315.26	209.16	36.15



Protokol o zkoušce tahem

Technická univerzita v Liberci

Katedra materiálu Fs, Hálkova 6, 461 17 Liberec 1, tel : +420 48 535 3392

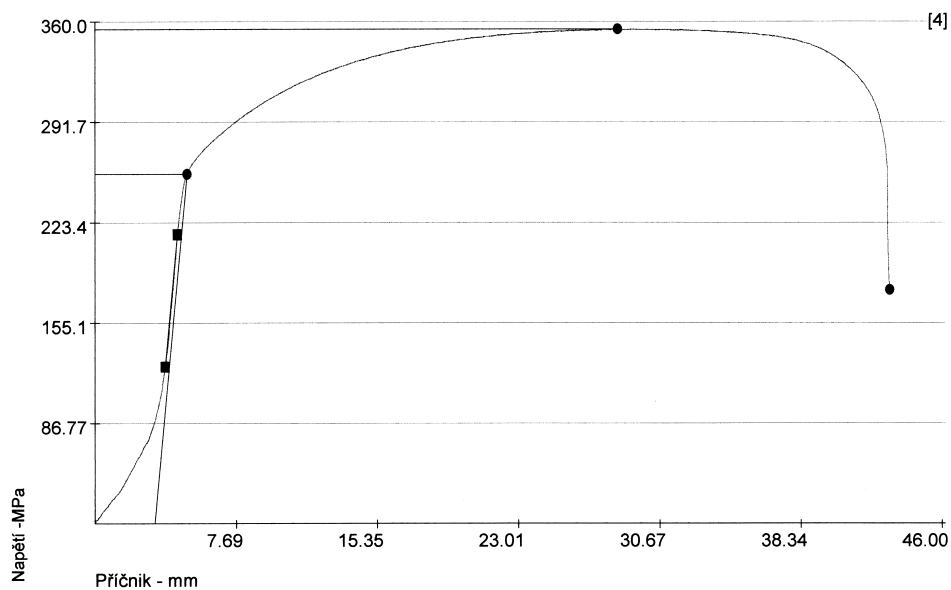
vstupní údaje

Název materiálu : 11 301.1 Typ vzorku : 1

Datum testu : 12.4.2007 Zkoušející : m. vyvlečka

vypočtené údaje

Zkouška	R _m MPa	R _{p0.2} MPa	A %
4	354.82	256.34	33.92



Protokol o zkoušce tahem

Technická univerzita v Liberci

Katedra materiálu Fs, Hálkova 6, 461 17 Liberec 1, tel : +420 48 535 3392

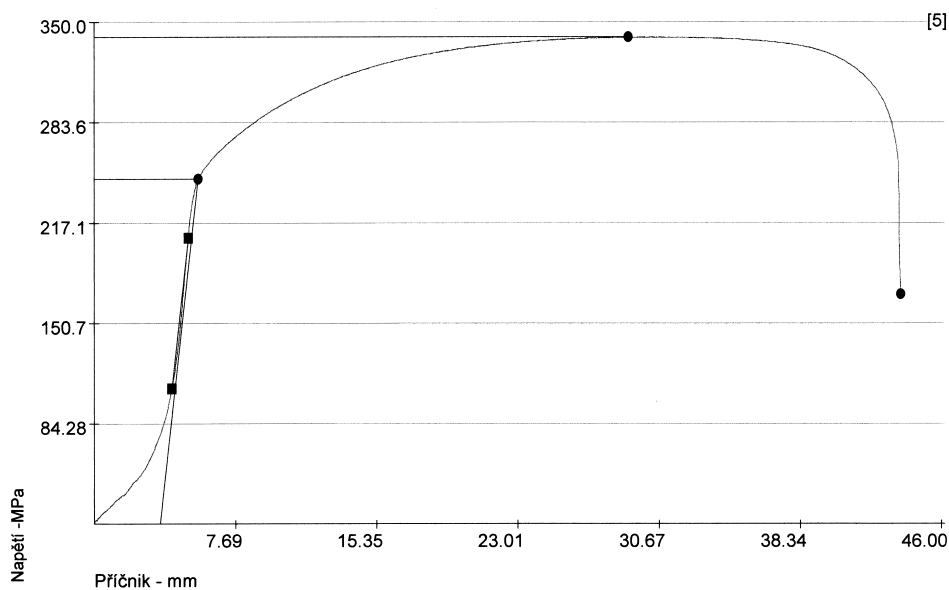
vstupní údaje

Název materiálu : 11 301.1 Typ vzorku : 1

Datum testu : 12.4.2007 Zkoušející : m. vyvlečka

vypočtené údaje

Zkouška	R _m MPa	R _{p0.2} MPa	A %
5	340.03	246.34	33.35



Protokol o zkoušce tahem

Technická univerzita v Liberci

Katedra materiálu Fs, Hálkova 6, 461 17 Liberec 1, tel : +420 48 535 3392

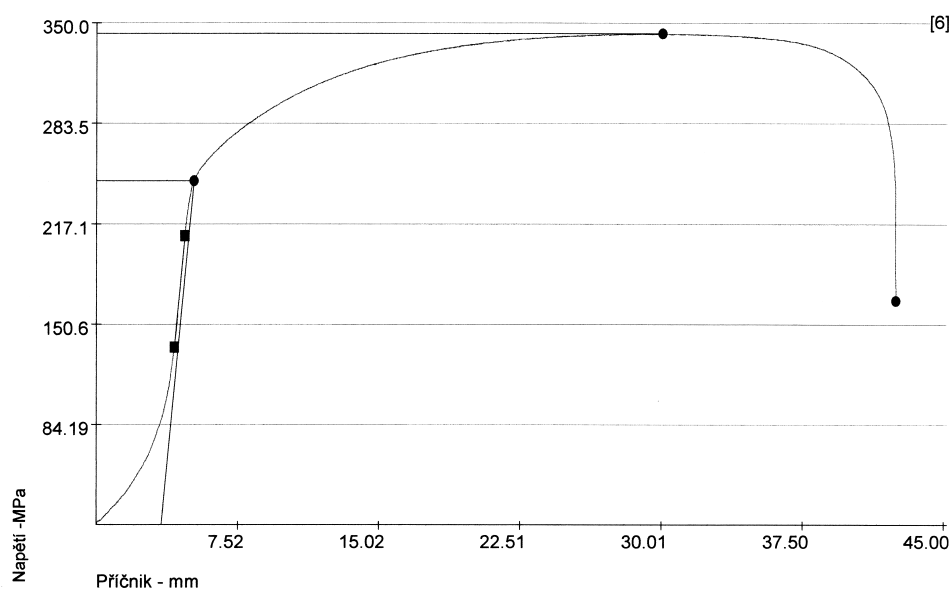
vstupní údaje

Název materiálu : 11 301.1 Typ vzorku : 1

Datum testu : 12.4.2007 Zkoušející : m. vyvlečka

vypočtené údaje

Zkouška	R _m MPa	R _{p0.2} MPa	A %
6	342.93	245.69	34.32



Protokol o zkoušce tahem

Technická univerzita v Liberci

Katedra materiálu Fs, Hálkova 6, 461 17 Liberec 1, tel : +420 48 535 3392

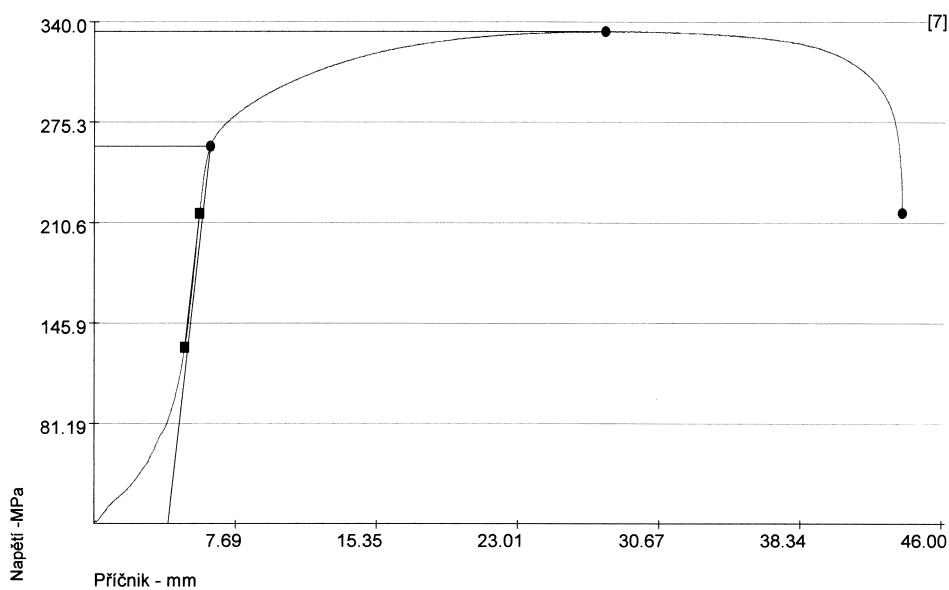
vstupní údaje

Název materiálu : 11 301.1 Typ vzorku : 1

Datum testu : 12.4.2007 Zkoušející : m. vyvlečka

vypočtené údaje

Zkouška	R _m MPa	R _{p0.2} MPa	A %
7	333.84	259.91	34.51



Protokol o zkoušce tahem

Technická univerzita v Liberci

Katedra materiálu Fs, Hálkova 6, 461 17 Liberec 1, tel : +420 48 535 3392

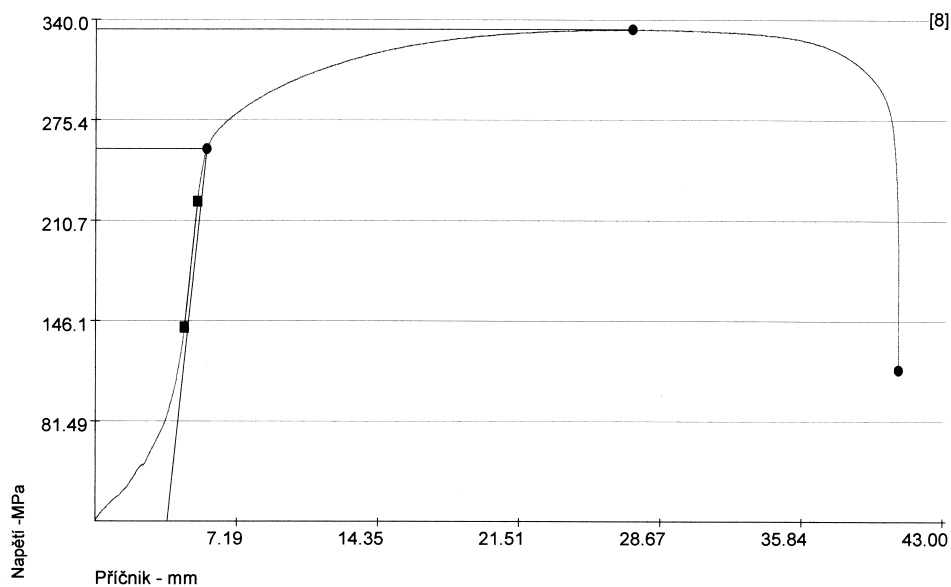
vstupní údaje

Název materiálu : 11 301.1 Typ vzorku : 1

Datum testu : 12.4.2007 Zkoušející : m. vyvlečka

vypočtené údaje

Zkouška	R _m MPa	R _{p0.2} MPa	A %
8	333.82	256.78	31.77



Protokol o zkoušce tahem

Technická univerzita v Liberci

Katedra materiálu Fs, Hálkova 6, 461 17 Liberec 1, tel : +420 48 535 3392

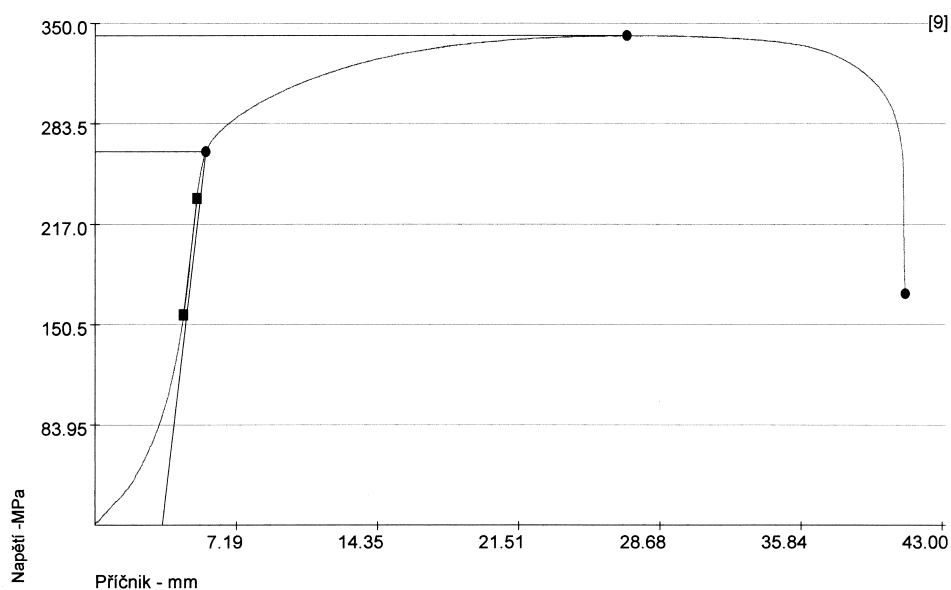
vstupní údaje

Název materiálu : 11 301.1 Typ vzorku : 1

Datum testu : 12.4.2007 Zkoušející : m. vyvlečka

vypočtené údaje

Zkouška	R _m MPa	R _{p0.2} MPa	A %
9	341.88	265.16	31.56



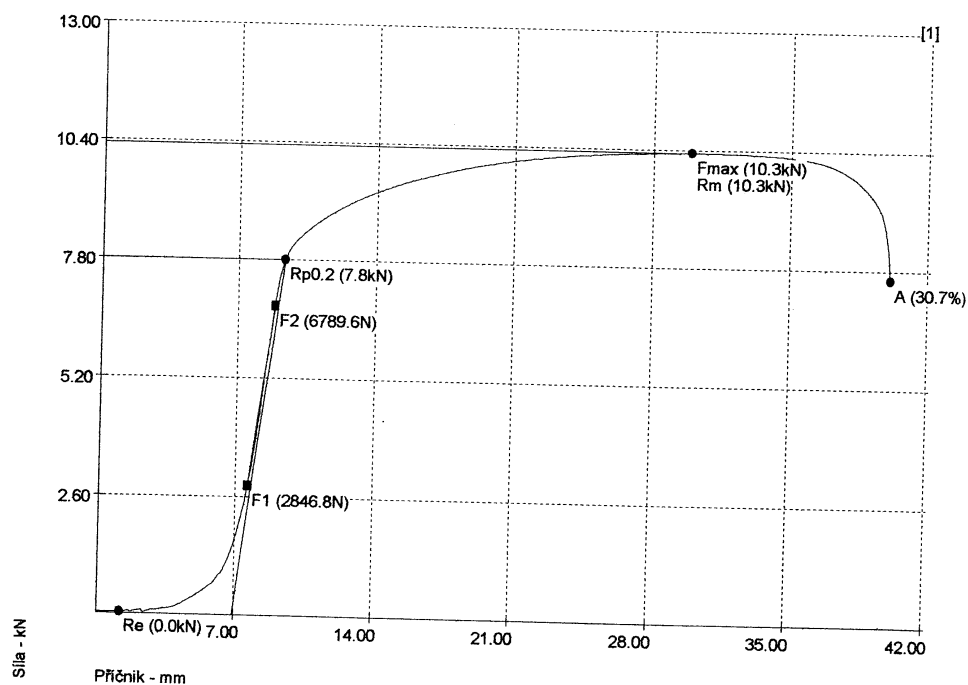
plech z tlakové nádoby hasícího přístroje

Číslo vzorku : plech tl 1,5 mm/1 Maximální dosažená síla [Fmax] : 10 kN
 Typ snímače síly : Tah/tlak 20kN Datum provedení zkoušky : 1.9.2006

zkouška tahem dle ČSN EN 10002-1

Zkouška	Číslo vzorku	a mm	b mm	Rp0.2 MPa	Fmax kN	Rm MPa	A %
1 V	plech tl 1,5 mm/1	1.51	19.75	262	10	346	30.68

N - Zkouška je označena jako neplatná.
 V - U zkoušky není bezchybně dokončen výpočet.
 R - U zkoušky je alespoň jedna hodnota mimo nastavený rozsah.



plech z tlakové nádoby hasícího přístroje

Číslo vzorku : plech tl 1,5 mm/2 Maximální dosažená síla [Fmax] : 10 kN
 Typ snímače síly : Tah/tlak 20kN Datum provedení zkoušky : 1.9.2006

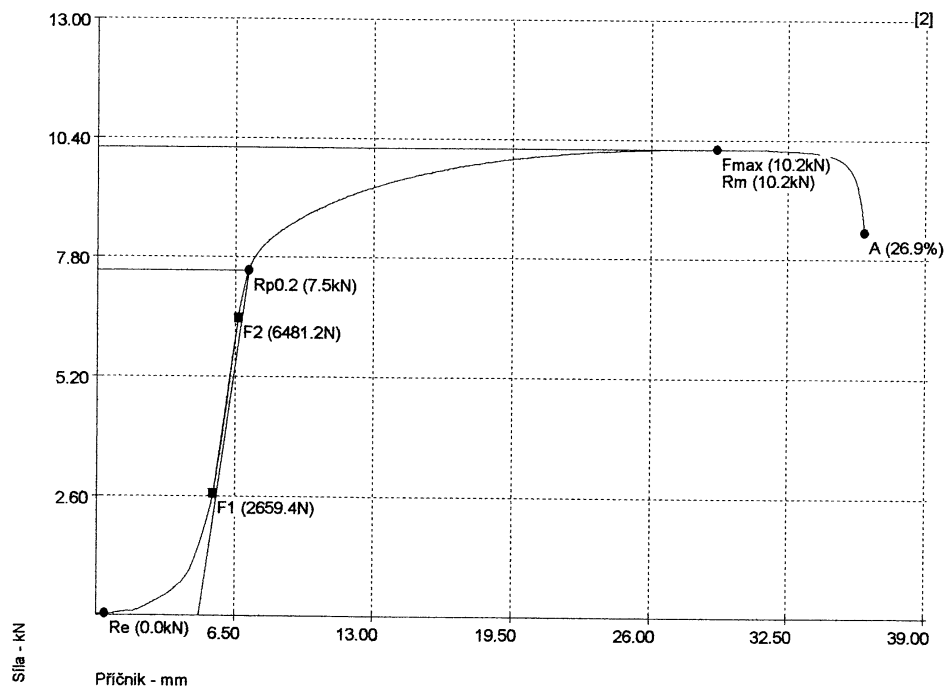
zkouška tahem dle ČSN EN 10002-1

Zkouška	Číslo vzorku	a mm	b mm	Rp0.2 MPa	Fmax kN	Rm MPa	A %
2 V	plech tl 1,5 mm/2	1.51	20.02	248	10	337	26.88

N - Zkouška je označena jako neplatná.

V - U zkoušek není bezchybně dokončen výpočet.

R - U zkoušek je alespoň jedna hodnota mimo nastavený rozsah.



Protokol o zkoušce tahem

Technická univerzita v Liberci

Katedra materiálu Fs, Hálkova 6, 461 17 Liberec 1, tel : +420 48 535 3392

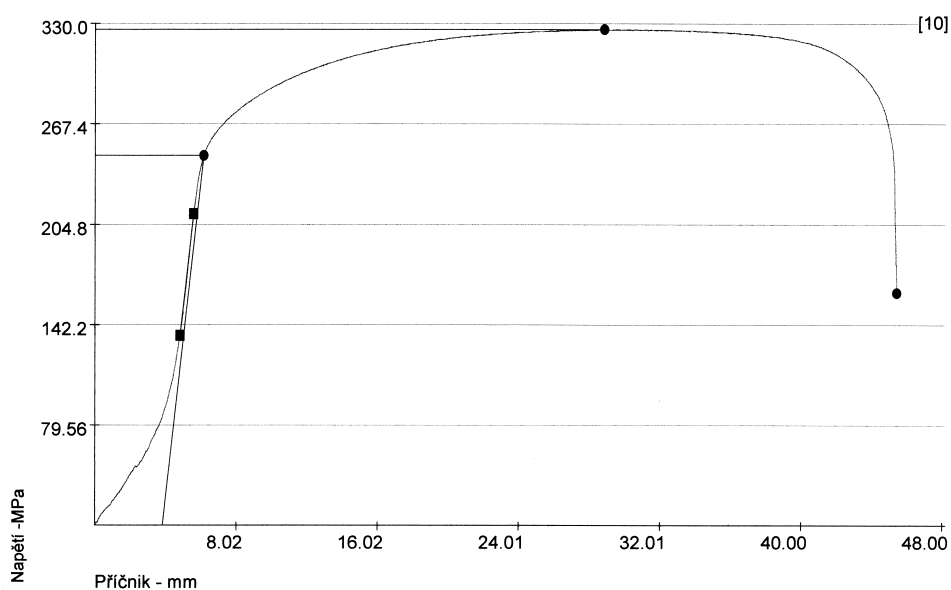
vstupní údaje

Název materiálu : 11 301.1 Typ vzorku : 1

Datum testu : 12.4.2007 Zkoušející : m. vyvlečka

vypočtené údaje

Zkouška	R _m MPa	R _{p0.2} MPa	A %
10	326.25	247.84	35.32



Protokol o zkoušce tahem

Technická univerzita v Liberci

Katedra materiálu Fs, Hálkova 6, 461 17 Liberec 1, tel : +420 48 535 3392

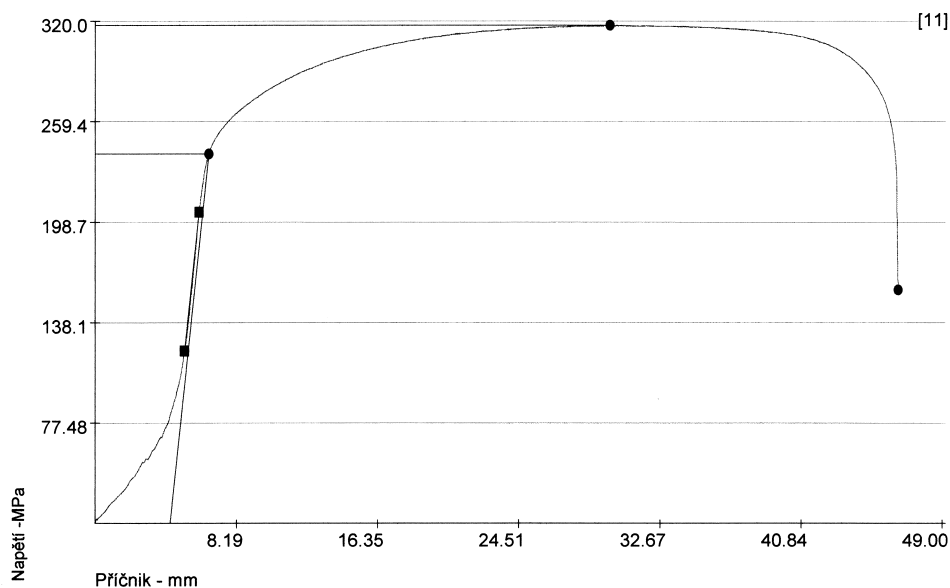
vstupní údaje

Název materiálu : 11 301.1 Typ vzorku : 1

Datum testu : 12.4.2007 Zkoušející : m. vyvlecka

vypočtené údaje

Zkouška	R _m MPa	R _{p0.2} MPa	A %
11	317.34	239.79	37.42



Protokol o zkoušce tahem

Technická univerzita v Liberci

Katedra materiálu Fs, Hálkova 6, 461 17 Liberec 1, tel : +420 48 535 3392

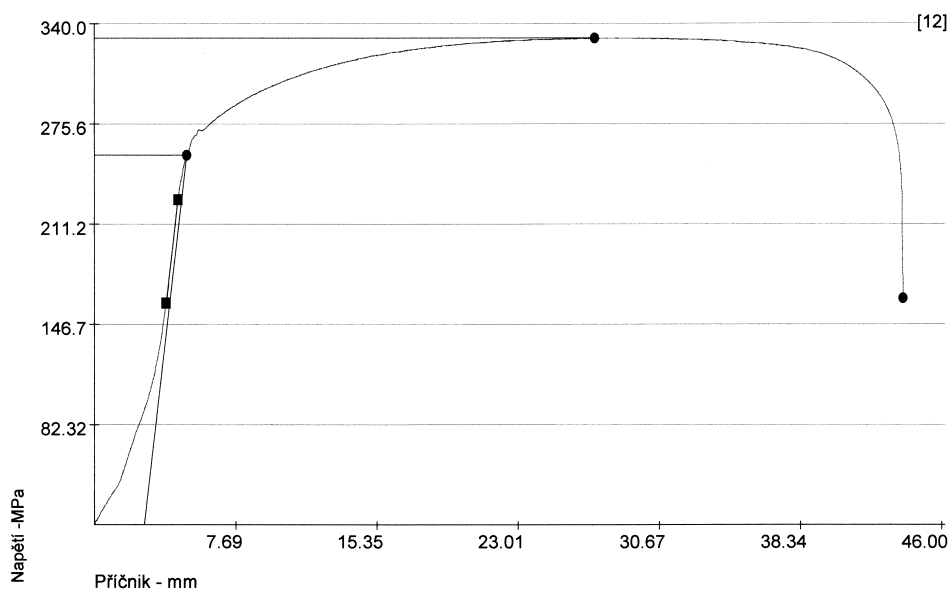
vstupní údaje

Název materiálu : 11 301.1 Typ vzorku : 1

Datum testu : 12.4.2007 Zkoušející : m. vyvlečka

vypočtené údaje

Zkouška	R _m MPa	R _{p0.2} MPa	A %
12	330.63	255.25	36.08



Protokol o zkoušce tahem

Technická univerzita v Liberci

Katedra materiálu Fs, Hálkova 6, 461 17 Liberec 1, tel : +420 48 535 3392

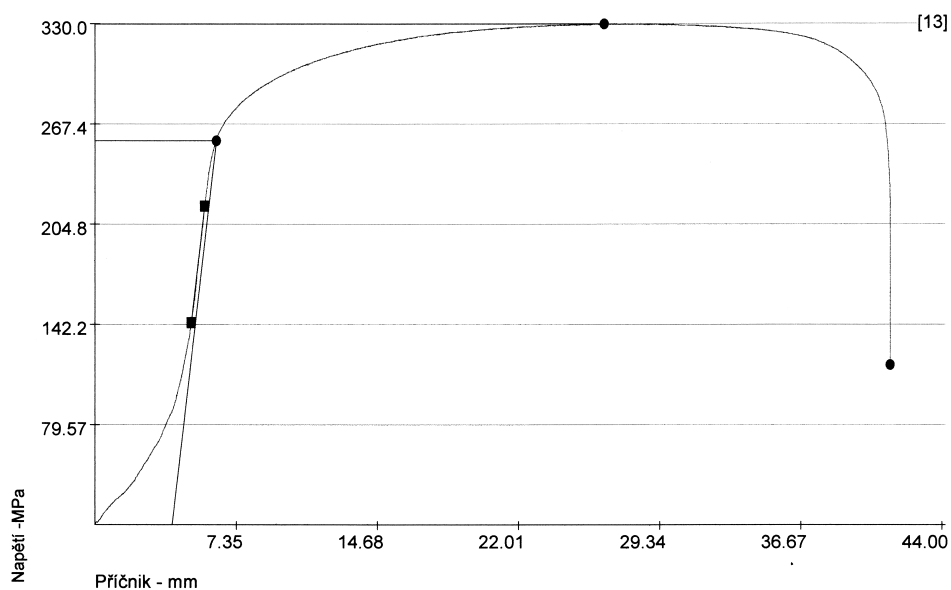
vstupní údaje

Název materiálu : 11 301.1 Typ vzorku : 1

Datum testu : 12.4.2007 Zkoušející : m. vyvlečka

vypočtené údaje

Zkouška	R _m MPa	R _{p0.2} MPa	A %
13	329.63	256.87	32.39



Protokol o zkoušce tahem

Technická univerzita v Liberci

Katedra materiálu Fs, Hálkova 6, 461 17 Liberec 1, tel : +420 48 535 3392

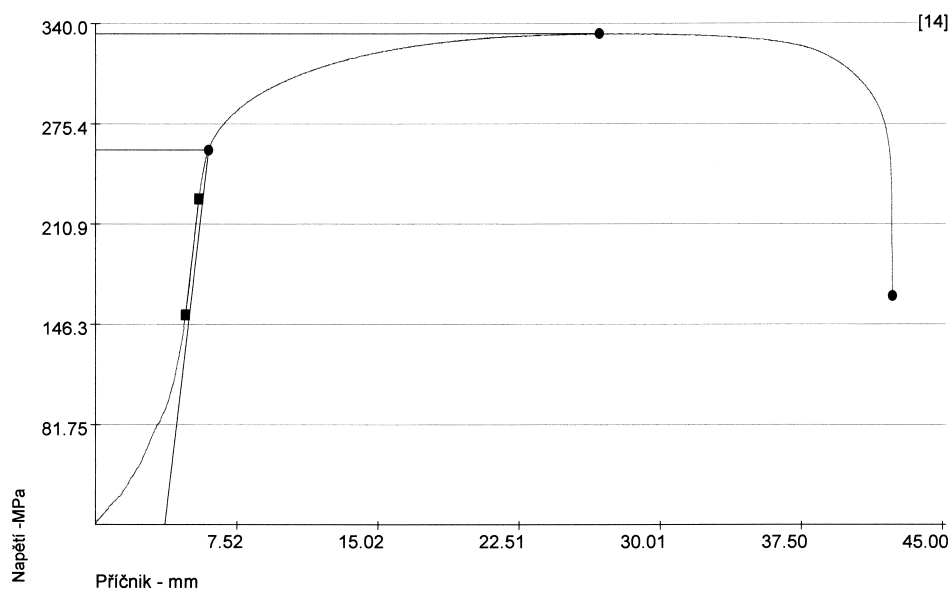
vstupní údaje

Název materiálu : 11 301.1 Typ vzorku : 1

Datum testu : 12.4.2007 Zkoušející : m. vyvlečka

vypočtené údaje

Zkouška	R _m MPa	R _{p0.2} MPa	A %
14	333.33	258.35	34.43



Protokol o zkoušce tahem

Technická univerzita v Liberci

Katedra materiálu Fs, Hájkova 6, 461 17 Liberec 1, tel : +420 48 535 3392

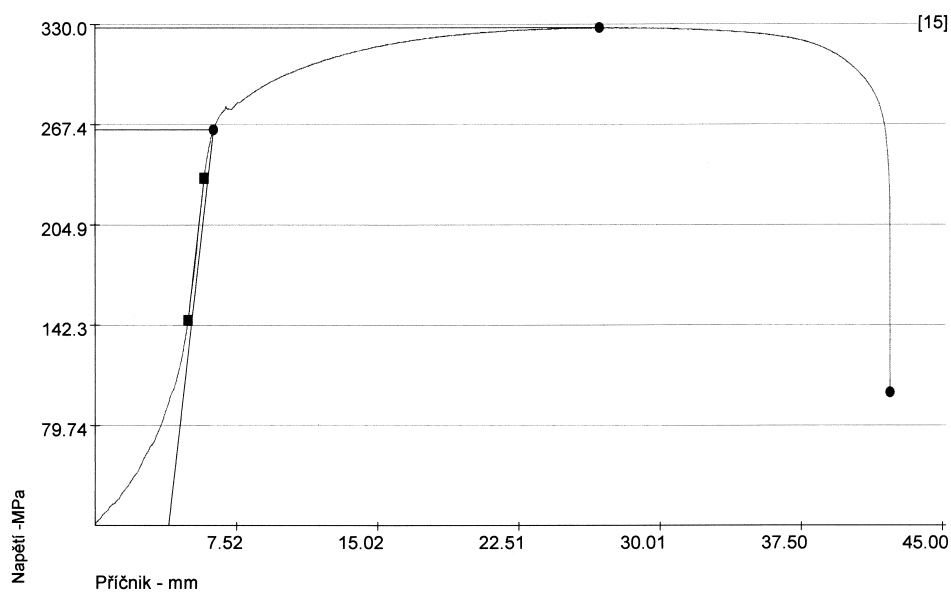
vstupní údaje

Název materiálu : 11 301.1 Typ vzorku : 1

Datum testu : 12.4.2007 Zkoušející : m. vyvlecka

vypočtené údaje

Zkouška	R _m MPa	R _{p0.2} MPa	A %
15	327.83	264.20	33.30



Příloha č.18. – Atest – materiál série I., II., III.

FROM : HATO s.r.o. MLADA BOLESLAV

PHONE NO. : +420 326 721527

05 JAN. 2005 15:32 P1



HATO, spol. s r.o. P.O. BOX 90 Kosoňická 77, 294 41 DOBROVICE

Držitel certifikátu ISO 9001:2001



OPIS ATESTU

ČSN EN 10204(DIN 50049) 3.1.B

Číslo atestu: 12180401

Attest No.
Attest Nr.

stříháno z 1,5x1000 VPFM

Materiál:
Material/Material
Rozměr : plech ocelový
Dimensions / Abmessung 1,50x310x493
Jakost:
Qualitätsstufe 11301.21
Dodací podmínky:
Terms of delivery
Lieferbedingungen ČSN 420127.61

Hmotnost:
Weight/Gewicht 9101kg

ALBECO s.r.o.
servis hasicích přístrojů
Ruprechtická 75
460 01 Liberec 1

Mechanické vlastnosti / Mechanical tests / Mechanische Prüfungen

	Číslo tavby: Heat No Schmelz Nr.	Číslo svitku	Mez skluzu Yield point Streckgrenze	Mez pevnosti Tensile strength Zugfestigkeit	řáhlost A(%) Elongation Bruchdehnung
Předepsané hodnoty zkoušek Prescribed value of tests Vorgeschriebene Werte der Prüfungen			max.225	290-360	min.31
	53188	53188	200	300	43,5

Chemický rozbor %: Chemical composition % / Chemische Zusammensetzung %:

Číslo tavby: Heat No. Schmelz Nr.	C	Mn	Si	P	S	Al
53188	0,04	0,18	0,01	0,02	0,008	0,014

Hodnota hmotnosti aktivity ionizujícího záření v tavební analýze nepřesahuje 100Bq/kg

Výrobky vyhovují předepsaným požadavkům.

Product satisfy specified requirements / Erzeugnis genügen vorgeschriebenen Anforderungen.

Pozn. Postupy uplatněné v našem SJ zaručují spojitost mezi originálem tohoto opisu a dodaným produktem.

Za správnost údajů

Pavel Touš

Představitel vedení pro jakost

Quality manager / Qualitätsmanager

V Dobruvici dne:16.12.2004



spol. s r.o.
IČ: 61328023
DIČ: 646-61328023

PAVEL TOUS
představitel
vedení pro jakost
Kosoňická 77
294 41 Dobruvici
TEL 326 367201-4
FAX 326 367204

Příloha č.19. – Atest – materiál série IV.



HATO, spol. s r.o. P.O. BOX 90 Kosofická 77, 294 41 DOBROVICE

Držitel certifikátu ISO 9001:2001



OPIS ATESTU

ČSN EN 10204(DIN 50049) 3.1.

Číslo atestu: 3130701

Attest No.
Attest Nr.

Material:
Material/Material
Rozměr:
Dimension / Abmessung
Jalost:
Quality/Qualität
Dodací podmínky:
Terms of delivery
Lieferbedingungen

plech ocelový
1,50x493x310
11301.21
ČSN 420127.61

Hmotnost:
Weight/Gewicht

4184kg

ALBECO s.r.o.
servis hasicích přístrojů
Ruprechtická 75
460 01 Liberec 1

Mechanické vlastnosti : / Mechanical tests / Mechanische Prüfungen

	Číslo tavby: Melt No. Schmelze Nr.	Číslo svitku	Mez sílu R_m max. Yield point Streckgrenze	Mez pevnosti R_m Tensile strength Zugfestigkeit	Číselnost A (%) Elongation Bruchdehnung
Předepsané hodnoty zkoušek Prescribed values of tests Vorgeschriebene Werte der Prüfungen	63214	63214	max. 225 185	290-360 311	min. 31 41

Chemický rozbor %: Chemical composition % / Chemische Zusammensetzung %:

Číslo tavby: Melt No. Schmelze Nr.	C	Mn	Si	P	S	Al
63214	0,03	0,16	0,01	0,012	0,009	0,04

Hodnota hmotnosti aktivity ionizujícího záření v tavební analýze nepřesahuje 100Bq/kg

Výrobky vyhovují předepsaným požadavkům.

Product satisfy specified requirements. / Erzeugnis genügen vorgeschriebenen Anforderungen.

Pozn. Postupy uplatněné v našem SJ zaručují spojitost mezi originálem tohoto opisu a dodaným produktem

Za správnost údajů

Pavel Touš

Představitel vedení pro jakost

Quality manager / Qualitätsmanager



HATO, spol. s r.o.
Kosofická 78
294 41 Dobruška

Číslo 61325623
Číslo 61325623

TEL 326 387201-4
FAX 326 387205

V Dobrušce dne: 13.3.2007

Příloha č. 20. – Atest – materiál série V.

FROM : LIMART a.s.

FAK NO. : 420 5 4523222

13 May. 2003 12:30 P2

ATEST SPECIFICKÝ
TEST REPORT
ČSN EN 10204 (DIN 50049)3 1 B

LIMART a.s.

Číslo objednávky
Order no.

Zákazník
Client

Albeco spol s r.o.

Číslo zakázky
Order no.

460 01 Liberec

Číslo dodacího listu
Bill of delivery

Číslo
Certificate no.

1205/01

Datum
Date

12.5.2003

Výrobek/Product		Rozměry/Dimensions (mm)					
plech		1.5x300x260 1.5x493x310					
Norma/Standard	ČSN 42 0127 61	Predepisane hodnoty	Mez kluzu Re (Rp 0.2) Tensile strength	Pevnost v tahu Rm Tensile strength	Tažnost A Elongation	Prohloubení Couping value	Vrubova nauzevna- lost Impact value
Jakost/Quality	11 301 21	zkouška PRACTICAL VALUE TESTING					
Druh/Grade	1		M Pa	M Pa	%	mm	
Počet kusů/Number of pieces		max	225	370			
Hmotnost/Weight	7 861 kg	min		280	31		

VÝSLEDKY MECHANICKÝCH ZKOUŠEK

Mechanical tests

Číslo lavby Test no.	Číslo dokumentu Documentation no.	Mez kluzu Tensile strength	Pevnost v tahu Tensile strength	Tažnost A Elongation	Prohloubení Couping value	Vrubova nouřezná odolnost Impact value	Zkouška lámavosti Bend test	Číslo zkoušky Test no.		
		M Pa	M Pa	%	mm					
Oc242336		173	306	44						
Oc332510		175	308	46						
L:	Zkouška podélně ve směru valcování									
T:	Zkouška napříč ve směru valcování									
Výsledky ostatních zkoušek										
Other tests results										

CHEMICKÉ SLOŽENÍ V %

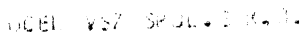
Chemical composition %

Číslo lavby Test no.	C	Mn	Si	P	S	Al	N			
Oc242336	0.060	0.240	0.010	0.010	0.011	0.034	0.004			
Oc332510	0.04	0.26	0.01	0.012	0.013	0.041	0.003			

Vystavil: Linda Hofírková
Tel: 545 42 94 50

LIMART a.s.
IČO: 25569678
Hofírková Linda
Asistent TČÚ

01-SEP 98 THU 10:50 PERON4 3 S HARRIS 1 767-414-41-1000 3 001



FD-240-2-98
1003552057
124777 01

WILLIAM J. BROWN, A.S.
 1734 24th St
 1734 24th St

číslo: 124717 01

HOTNÝ ATLEST		SÍSLA		124777 01	
S POUŽITÍM VÝROBKU				S POUŽITÍM VÝROBKU	
PLACHY TENKY V TABULIACH VYDROVANEJ ZA POUŽITIA				1.50	1000
10 Názov	CSN 42 012 62 01	10 Názov	10 Názov	10 Názov	10 Názov
12 Súčasný stav	11 501 01	12 Súčasný stav	12 Súčasný stav	12 Súčasný stav	12 Súčasný stav
14 Číslo dokladu	645771	14 Číslo dokladu	14 Číslo dokladu	14 Číslo dokladu	14 Číslo dokladu
16 Číslo a dátum vydania	24 26 1974	16 Číslo a dátum vydania	16 Číslo a dátum vydania	16 Číslo a dátum vydania	16 Číslo a dátum vydania
18 Číslo a dátum prijatia	280	18 Číslo a dátum prijatia	18 Číslo a dátum prijatia	18 Číslo a dátum prijatia	18 Číslo a dátum prijatia

2. VÝSLEDKY MECHANICKÝCH SKUŠOK

04 Dobro slovy	05 Dobro slovy	06 Dobro slovy Dobro slovy Dobro slovy	07 Dobro slovy Dobro slovy Dobro slovy	08 Dobro slovy Dobro slovy Dobro slovy	09 Dobro slovy Dobro slovy Dobro slovy	10 Dobro slovy Dobro slovy Dobro slovy	11 Dobro slovy Dobro slovy Dobro slovy
34804	3480410	171	300	11,9	12,4		
31779	3177912	180	322	10,5	11,7		

26 Výsledky kontrolných skúšok

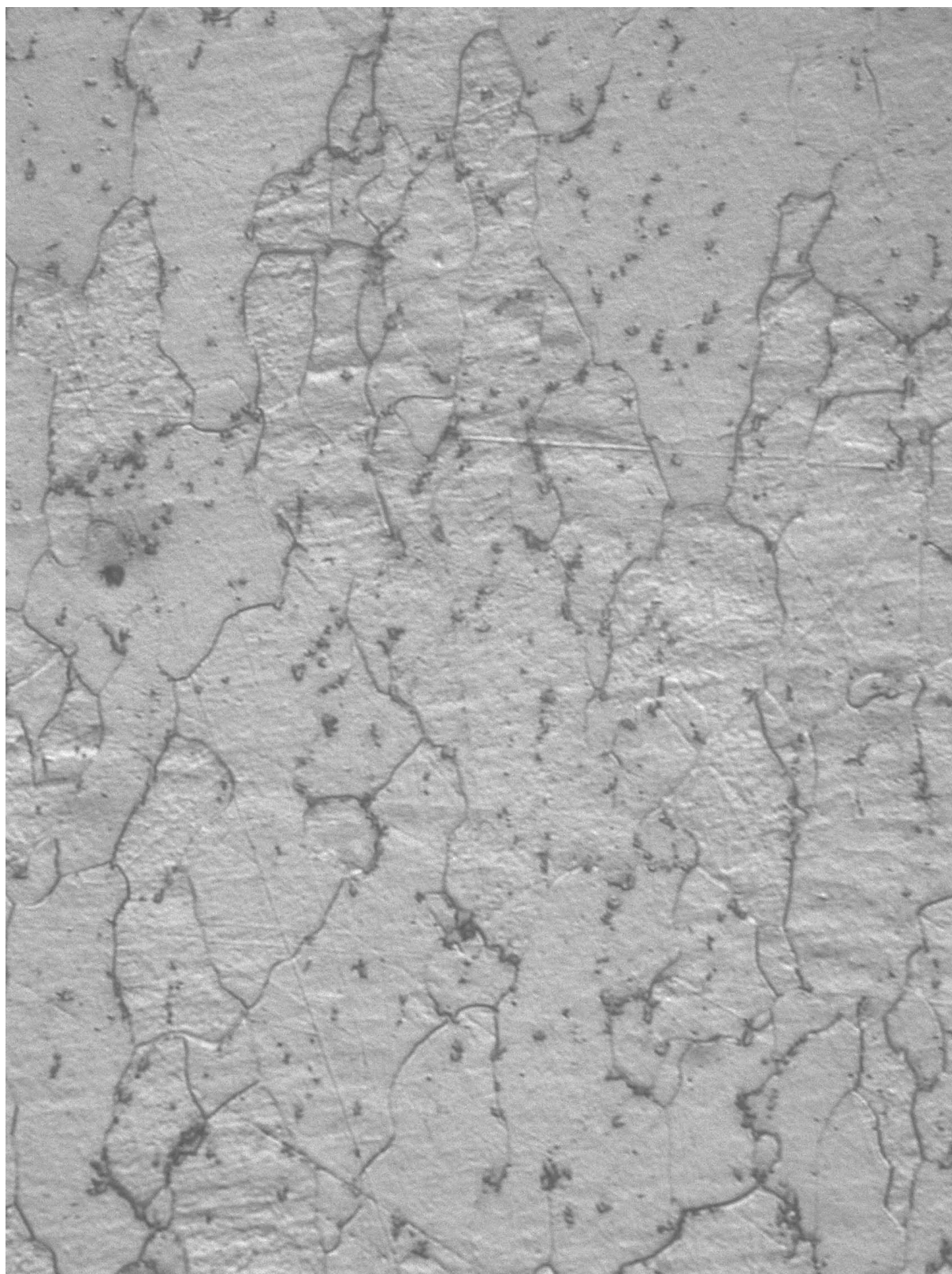
• CHE MICKÉ ZLOŽNÉ V 6

24 C. Invol	C	Mn	Si	P	S	A	B
34604	0, 07	0, 20		0, 011	0, 019		
51729	0, 06	0, 21		0, 008	0, 011		

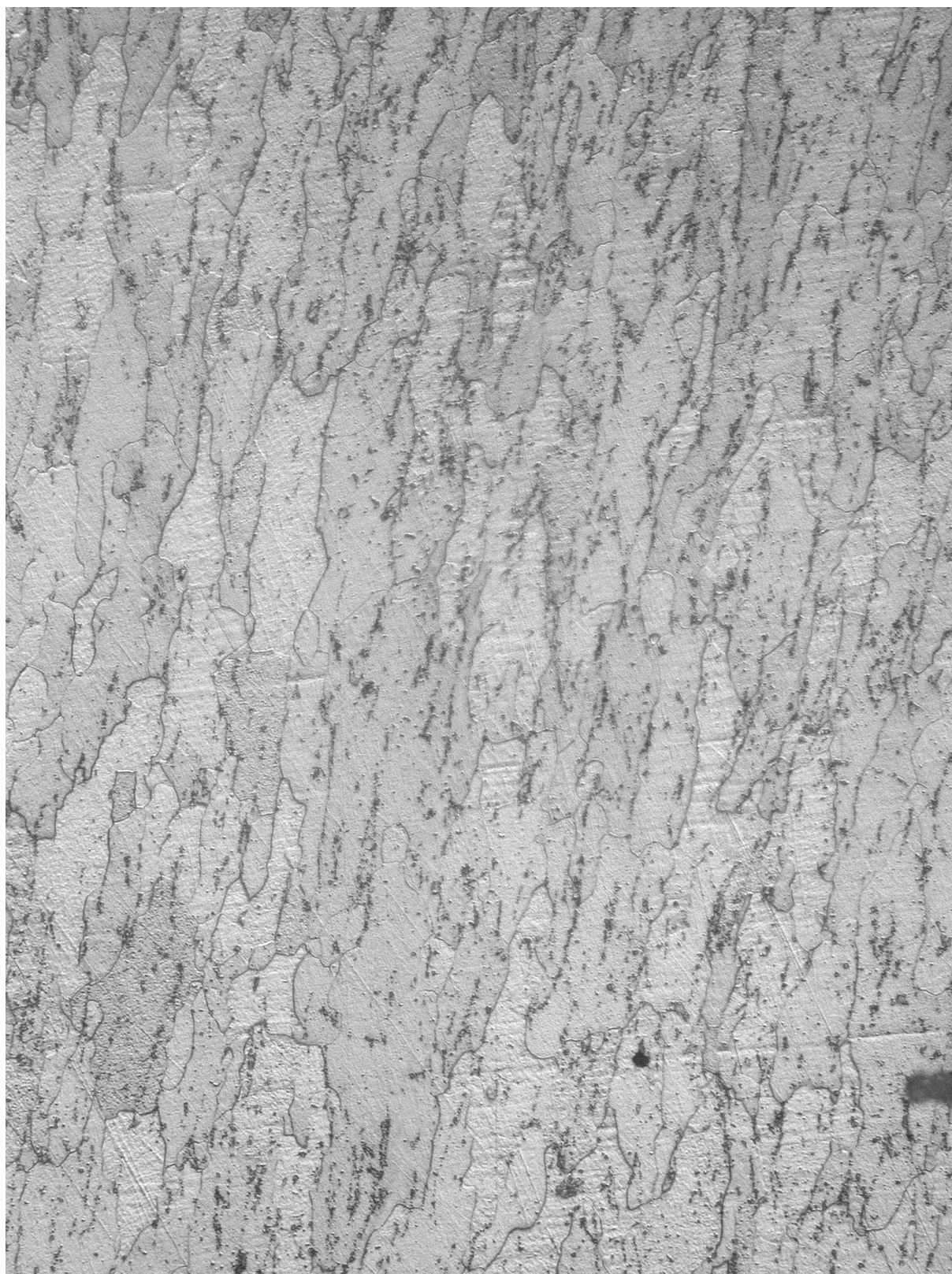
Příloha č. 22 – Snímek struktury plechu na začátku výroby, zvětšení 200x, Nital



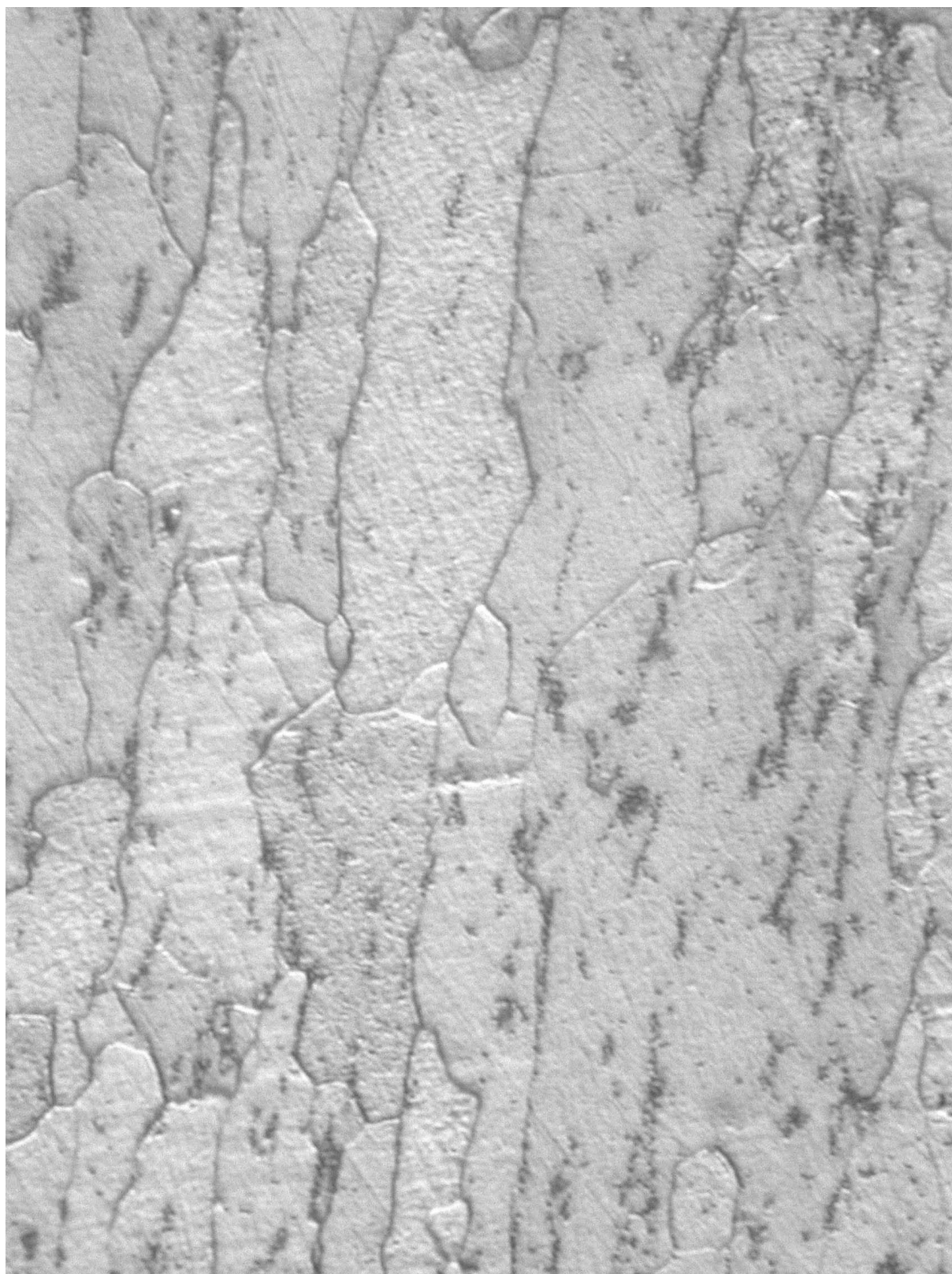
Příloha č. 23 – Snímek struktury plechu na začátku výroby, zvětšení 500x, Nital



Příloha č.24 – Snímek struktury plechu po skroužení a vypálení, zvětšení 200x, Nital



Příloha č.25 – Snímek struktury plechu po skroužení a vypálení, zvětšení 500x, Nital



Příloha č.26 – Snímek struktury plechu vzorek ze série VI., zvětšení 200x, Nital



Příloha č.27 – Snímek struktury plechu vzorek ze série VI., zvětšení 500x, Nital

